

Výskumný  
ústav  
pôdoznanectva  
a ochrany  
pôdy  
Bratislava

VÚPOP



SSCRI

Soil  
Science and  
Conservation  
Research  
Institute  
Bratislava

# Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy

2007

29

# Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

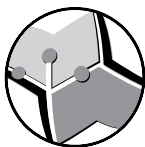






Výskumný  
ústav  
pôdoznaectva  
a ochrany  
pôdy  
Bratislava

**VÚPOP**



**SSCRI**

Soil  
Science and  
Conservation  
Research  
Institute  
Bratislava

# Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznaectva a ochrany pôdy

2007

**29**

# Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

# Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy č. 29

Oponent: prof. Ing. Bohdan Juráni, CSc.

© Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava

**ISBN 978-80-89128-40-2**

## Obsah

BARANČÍKOVÁ, G.	Validácia modelu RothC na vybraných monitorovacích lokalitách ..... 9
BUJNOVSKÝ, R.	Výskum v oblasti ochrany a udržateľného využívania pôdy – aktuálne úlohy a perspektívy s prihliadnutím na podmienky Slovenska ..... 23
GREČO, V. BEZÁK, J. HRIVŇÁKOVÁ, K. FRIČOVÁ, J.	Hodnotenie stavu znečistenia pôd polycyklickými aromatickými uhľovodíkmi v blízkosti frekventovaných ciest mesta Bratislava ..... 32
HALAS, J. NOVÁKOVÁ, M. SCHOLTZ, P.	Priestorová diferenciacia vybraných pôdných a environmentálnych vlastností a ich vplyv na úrodu pšenice ozimnej ( <i>triticum aestivum</i> L.) ..... 39
HANISKO, Ľ., HRÍBIK, J.	Ekonomické aspekty závlahy a hnojenia v produkčných ovocných sadoch so zreteľom na ochranu podzemných vôd ..... 50
HUTÁR, V. SCHOLTZ, P. HAMLÍKOVÁ, Ľ.	Priestorové informácie a využitie služby SKPOS pre poľnohospodárske a pôdoznalecké aplikácie ..... 60
KOBZA, J.	Aktuálny obsah fluóru v pôdach okolia hlinikárne v Žiari nad Hronom ..... 67
MAKOVNÍKOVÁ, J.	Variabilita bázických kationov v kambizemiach ..... 73
MEDVEĎ, M. MATÚŠKOVÁ, Ľ.	Biodegradácia ropných látok v pôde kompostovaním ..... 80
MEDVEĎ, M. MATÚŠKOVÁ, Ľ.	Agrobiologická degradácia motorovej nafty v pôde ..... 88
NOVÁKOVÁ, M.	Interpolácia meteorologických údajov pre potreby monitoringu stavu, vývoja a odhadu úrod poľnohospodárskych plodín ..... 95
NOVÁKOVÁ, M. SKALSKÝ, R.	Rozdielne prístupy k modelovaniu pôdnej vlhkosti (na príklade modelov WOFOST a SWAP) ..... 106
SKALSKÝ, R. SAKSA, M.	Metodické aspekty digitalizácie údajov KPP ..... 118
SOBOCKÁ, J. DODOK, R. LAPIN, M.	Využitie modelu RUSLE pre modelovanie pôdnej erózie (hnedozem) v podmienkach klimatickej zmeny ..... 127
SOBOLA, M. BIELEK, P.	Prioritné a deficitné poľnohospodárske oblasti v katastrálnom území obce Oponice určené pedologickými charakteristikami ..... 138
STYK, J., PÁLKA, B.	Vyjadrenie eróznej ohrozenosti poľnohospodárskych pôd SR využitím modelu USLE ..... 152
TAKÁČ, J.	Riziko vyplavovania dusičnanov z poľnohospodárskych pôd – prípadová štúdia Lehnice ..... 160
TARASOVIČOVÁ, Z. SKALSKÝ, R.	Analýza dostupnosti a formy dostupnosti údajov pre modelovanie ekosystému na globálnej úrovni ..... 174
ZAJÍČKOVÁ, Z.	Rozvoj, kvalita života a pôda v regiónoch Slovenskej republiky ..... 182





# VALIDÁCIA MODELU ROTH C NA VYBRANÝCH MONITOROVACÍCH LOKALITÁCH

## VALIDATION OF ROTH C MODEL ON SELECTED KEY MONITORING LOCALITIES

**Gabriela BARANČIKOVÁ**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, regionálne pracovisko Prešov*

### ABSTRACT

RothC 26.3 model is one of the most used model at simulation of soil organic carbon (SOC) progression.

This model was originally developed and parametrised to model the turnover of organic C in arable topsoils from the Rothamsted Long Term Field Experiments. In contrast to another soil model (CENRURY, DAISY, EPIC) RothC needs only several basic climatic, soil and land management data. For this reason this model was chosen for simulation of soil organic carbon stock in project APVV-0333-06: Modelling of estimation and prediction of soil organic carbon stock on agriculture soils of Slovakia.

Parametrisation and validation of the model on several soil monitoring localities with different soil and climate conditions was done. On these localities every year (time period 1994-2005) soil organic carbon in depth 0-10 cm is measured. Measured SOC values were compared to modelled data on the root mean square error (RMSE). RMSE values 10-14.2 % shows a reasonably good fit between observed and modelled data. Even if modelled data of SOC predominantly depend on plant and manure carbon input about extremely low value of clay fraction soil reactions are speeded and result is (mainly in beginning of SOC modelling) faster accumulation of SOC in the first stadium of modelling. During modelling also changes in percentage of active compartments were observed. The highest changes in HUM (humus) and RPM (resistant plant material) compartments were determined. During modelling period % of HUM compartment was decreased and RPM was increased. The highest changes in these compartments on locality Istebne (the highest input of C) and locality Moravský Svätý Ján (the lowest value of clay fraction) were observed.

On the basis of these results it can be suggested that RothC 26.3 model is suitable for prediction of soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia.

**KEYWORDS:** soil types, organic carbon, modelling climatic parameters

---

## ABSTRAKT

RothC 26.3 model je jedným z najčastejšie využívaných modelov pre simuláciu vývoja pôdneho organického uhlíka (POC). Tento model bol pôvodne vyvinutý a parametrizovaný pre modelovanie kolobehu organického uhlíka v orných pôdach Rothamstedských dlhotrvajúcich poľných experimentov. Na rozdiel od iných modelov (CENTURY, DAISY, EPIC) RothC vyžaduje ako vstupné údaje iba niekoľko základných parametrov obrábania pôdy, klimatických a pôdnych parametrov. Z tohto dôvodu bol tento model vybraný pre simuláciu zásob pôdneho organického uhlíka v projekte APVV-0333-06: Modelovanie a odhad prognózovania zásob pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Ako prvý krok bola realizovaná parametrizácia a validácia modelu na vybraných pôdnych monitorovacích lokalitách s rozdielnymi pôdnymi a klimatickými parametrami. Na týchto lokalitách sa od roku 1994 každoročne stanovuje obsah pôdneho organického uhlíka v hĺbke 0-10 cm. Namerané hodnoty POC boli porovnané s modelovými údajmi na základe strednej kvadratickej odchýlky (RMSE). RMSE hodnoty 10-14.2 % poukazujú na dobrú zhodu medzi pozorovanými a modelovanými údajmi. Napriek tomu, že modelované hodnoty POC závisia predovšetkým na vstupe uhlíka z rastlinných zvyškov a maštalného hnoja, pri extrémne nízkej hodnote ílovej frakcie sa pôdne reakcie urýchľujú, čoho výsledkom je (predovšetkým na začiatku modelovania POC) rýchlejšia akumulácia POC v prvom štádiu modelovania. Počas modelovaného obdobia boli tiež pozorované zmeny v percentuálnom zastúpení aktívnych zložiek POC. Najväčšie zmeny boli zaznamenané v HUM (humusovej) a RPM (rezistentný rastlinný materiál) frakciách. Počas modelovaného obdobia percentuálne zastúpenie humusovej zložky vzrástlo a RPM zložky sa znížilo. Najväčšie zmeny v týchto aktívnych zložkách POC boli zistené na lokalite Istebné (najvyšší vstup uhlíka) a na lokalite Moravský Svätý Ján (najnižšia hodnota ílovej frakcie). Na základe získaných výsledkov môžeme predpokladať, že RothC 26.3 model je vhodný pre prognózovanie pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** pôdne typy, organický uhlík, modelovanie, klimatické parametre

## ÚVOD

Pôdna organická hmota (POH) je dôležitým faktorom pre tvorbu pôdnej štruktúry a stabilných agregátov, ovplyvňuje infiltračnú rýchlosť pôdy, slúži ako pufrálny systém pri stabilizácii hodnôt pH a ako energetický zdroj pre mikroorganizmy (Jones a kol. 2004). POH predstavuje tiež hlavný zdroj organického uhlíka (Cox) v biosfére a v závislosti od podmienok môže eliminovať alebo sequestrovať skleníkové plyny v životnom prostredí. Sprievodným znakom intenzifikácie poľnohospodárstva (zmena kultúr, premena pasienkov na ornú pôdu, nízky prísun kvalitnej organickej hmoty) môže byť postupné znižovanie stavu POH, ktoré v konečnom dôsledku môže znamenať zníženie poľnohospodárskej produkcie, zvýšenie erózie, záplav, zhutnenia pôdy i zníženie pufrovacej schopnosti pôdy (ECKELMANN a kol. 2006).

V dôsledku klimatických zmien a pomerne rýchlych zmien v hospodárení na pôde sa

do popredia dostáva otázka krátkodobého aj dlhodobého prognózovania stavu POH na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Pri riešení tejto problematiky nám výrazným spôsobom môže pomôcť využitie modelovania zásob organického uhlíka pri predpokladaných zmenách klímy, resp. hospodárenia na pôde.

V súčasnosti je známych viacero modelov, ktoré sa využívajú pri zisťovaní stavu organického uhlíka v pôde, pričom najznámejšie a najviac využívané sú CENTURY, EPIC, ROTH C, CANDY (ECKELMANN a kol. 2006). ROTH C model je možné aplikovať v časovom období od niekoľkých rokov až po stáročia a bol testovaný v dlhotrvajúcich experimentoch v rámci veľkého rozsahu pôdnych typov a klimatických podmienok v Európe (COLEMAN a kol. 1997, Smith a kol. 1997). Vo väčšine prípadov sa modely testujú pri lokálnych experimentoch s detailným popisom prírodných podmienok a s podrobnou charakteristikou jednotlivých zásahov do pôdy (FALLOON a SMITH, 2002, 2003). V poslednom období sa však čoraz častejšie uplatňujú aj pri modelovaní a prognózach uhlíka v regionálnom rozsahu (FALLOON a kol. 1998a, FALLOON a kol. 2002, Wesemael a kol. 2004, 2005) aj na poľnohospodárskych pôdach celej krajiny (BARANČIKOVÁ, 2005). V súčasnosti bol ROTH C model využitý aj pri prognózovaní zmien uhlíka v poľnohospodárskych pôdach Európy pre obdobie rokov 1990-2080 (SMITH a kol. 2005, 2007).

Nakoľko pre Roth C model je možné, aj v regionálnom rozsahu, získať pomerne kvalitné a hodnoverné vstupné údaje, ktoré sú nevyhnuté pre vysoko pravdepodobné hodnoty výstupov POH a ďalších frakcií pôdnej organickej hmoty v priebehu modelovania rozhodli sme sa pracovať s týmto modelom v rámci projektu APVV-0333-06: Modelovanie prognóz stavu pôdnej organickej hmoty pri krátkodobom i dlhodobom prognózovaní stavu pôdneho organického uhlíka (POC) na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Prvé úspešné testovanie modelu ROTH C bolo uskutočnené na dlhotrvajúcom pôdnom experimente v Žabčiciach na Morave (Barančíková a Pospíšilová, 2006). Keďže tento model nebol doteraz aplikovaný na pôdnych a klimatických podmienkach Slovenska, bola nevyhnutná jeho validácia v našich podmienkach. Testovanie vhodnosti aplikácie ROTH C-26.3 na vybraných monitorovacích lokalitách, v rámci Monitoringu pôd Slovenska, ktoré zohľadňujú rôzne pôdne typy ako aj rozdielne klimatické oblasti je cieľom prvej etapy projektu APVV-0333-06. Tento príspevok sumarizuje vývoj jednotlivých zložiek POC v priebehu modelovania ako aj výsledky získané pri validácii modelu ROTH C-26.3 na piatich monitorovacích lokalitách.

## MATERIÁL A METÓDY

### Popis lokalít

Na validáciu modelu bolo vybraných päť kľúčových lokalít: Macov, Moravský Svätý Ján, Istebné, Liesek a Nacina Ves na rôznych pôdnych typoch, s rozdielnym zrnitostným zložením, v rozdielnej nadmorskej výške a klimatických podmienkach (obr. 1).

---



Obr. 1 Lokalizácia monitorovacích sond použitých na validáciu modelu ROTH-C  
*Localization of monitoring localities using for ROTH-C validation*

Lokalita Mačov sa nachádza na Podunajskej rovine v nadmorskej výške 120 m v okrese Dunajská Streda. Klíma na tejto lokalite je teplá, suchá, s miernou zimou a dlhším slnečným svitom. Pôdny typ je čiernica modálna-karbonátová, zrnitostne hlinitá.

Lokalita Istebné sa nachádza v Stredných Beskydách v okrese Dolný Kubín v nadmorskej výške 545 m. Jedná sa o mierne teplú veľmi vlhkú klimatickú oblasť. Pôdny typ je kambizem glejová, zrnitostne hlinitá.

Lokalita Liesek sa nachádza v Oravskej kotline, v nadmorskej výške 770 m v okrese Dolný Kubín. Klimatická oblasť je mierne chladná, pôdny typ pseudoglej, zrnitostne hlinitý.

Lokalita Nacina Ves je lokalizovaná v nadmorskej výške 122 m na Východoslovenskej nížine na Laboreckej nive. Klimatická oblasť na tejto lokalite je teplá, mierne vlhká s chladnou zimou. Pôdny typ je fluvizem glejová, zrnitostne ílovitá.

Lokalita Moravský Ján sa nachádza na Záhorskej nížine, konkrétne na Borskej nížine v nadmorskej výške 163 m. Klimatická oblasť na tejto lokalite je teplá, mierne suchá s miernou zimou. Pôdny typ je regozem arenická, zrnitostne piesočnatá.

Na kľúčových monitorovacích lokalitách sa od roku 1994 každoročne stanovuje percento organického uhlíka v hĺbke 0-10 cm. Pri validácii modelu sme použili obdobie od roku 1994 do roku 2005.

### Popis modelu ROTH-C 26.3

Pre korektný priebeh použitia ROTH-C modelu sú nevyhnutné tri skupiny vstupných údajov:

- klimatické údaje
- pôdne údaje
- údaje o využití pôdy a o hospodárení na pôde

### *Klimatické údaje*

ROTHC model vyžaduje priemerné mesačné hodnoty zrážok (mm), priemernú mesačnú teplotu vzduchu (0C) a mesačné hodnoty evapotranspirácie. Priemerná mesačná teplota vzduchu sa častejšie využíva ako teplota pôdy, nakoľko pre väčšinu modelovaných lokalít sa dá ľahšie získať a dostatočne reprezentuje priemernú teplotu pôdy v ornici (COLEMAN, JENKINSON, 2005). Priemerné mesačné úhrny zrážok a teploty vzduchu boli získané z meteorologických staníc, ktoré sa nachádzajú najbližšie pri danej lokalite a sú uvedené v tabuľke 1. Mesačné hodnoty evapotranspirácie sa vypočítali na základe priemernej mesačnej teploty podľa empirického Thornthwaitovho vzorca (SHAW, 1994).

### *Pôdne údaje*

Základné pôdne údaje nevyhnutné pre priebeh modelovania sú: percento ílovej frakcie, hĺbka pôdy (cm), počiatočný stav pôdneho organického uhlíka POC v tC/ha, inertný organický uhlík (IOM).

Na všetkých kľúčových lokalitách sa stanovuje organický uhlík v hĺbke 0-10 cm, a hodnoty Cox sa stanovujú v percentách. Tieto hodnoty Cox sa prepočítajú na základe hodnôt objemovej hmotnosti pre danú lokalitu a hĺbku pôdy na pôdny organický uhlík (POC) v t/ha. Inertný organický uhlík v ROTHC modeli predstavuje malú, stabilnú a biologicky inertnú frakciu pôdneho uhlíka s vysokým rádiouhlíkovým vekom. Ak nie sú k dispozícii údaje IOM získané z rádiouhlíkových údajov, inertný organický uhlík je možné vypočítať z hodnoty počiatočného stavu organického uhlíka podľa Falloona (FALLOON a kol. 1998b). Počiatočné údaje o množstve uhlíka ako aj IOM hodnoty a percentuálne zastúpenie ílovej frakcie na jednotlivých lokalitách sa nachádzajú v tabuľke 1.

**Tab. 1.** Základné pôdne údaje, meteorologické stanice, vstupy uhlíka z rastlinných zvyškov (RZ) a maštalného hnoja (MH) pre testované kľúčové lokality

Lokalita	Pôdny typ	Meteorologická stanica	% ílovej frakcie	POC (t/ha)	IOM (t/ha)	C RZ (t/ha)	C MH (t/ha)
Macov	ČA	Gabčíkovo	44	25,8	1,96	1,11	0,4
Istebné	KMg	Oravský Podzámok	35	15,3	1,1	0,737	2,27
Liesek	PG	Liesek	39	18,5	1,36	0,74 (1994-2000) 1,61 (2001-2005)	0,45 (2001-2005)
Nacina Ves	FMg	Kamenica n/Cirochou	66	21,1	1,58	0,77 (1994-1998), 1,25 (1999-2005)	1,46
Moravský Ján	RMa	Moravský Ján	6	10,5	0,692	0,75	0,26

### *Údaje o využití pôdy a hospodárení na pôde.*

Základné údaje nevyhnutné pri modelovaní ROTHC sú nasledovné: pôdny pokryv, mesačný vstup rastlinných zvyškov (tC/ha), mesačný vstup organického hnojenia (tC/ha), faktor kvality rastlinných zvyškov (DPM/RPM pomer). Vstup rastlinných zvyškov je množstvo uhlíka vstupujúceho do pôdy mesačne a vypočíta sa na základe úrody hlavného produktu a hodnoty prepočítavacieho koeficientu pre dané rozpätie úrod podľa Jurčovej (JURČOVÁ A BIELEK, 1997).

Množstvo uhlíka vstupujúceho do pôdy z maštalného hnoja (MH) sa uvádza oddelene, nakoľko rozklad org. uhlíka z použitého maštalného hnoja sa líši od rozkladu z čerstvých rastlinných zvyškov (COLEMAN, JENKINSON, 2005) a vypočíta sa tiež podľa Jurčovej (Jurčová a Bielek, 1997).

Odhad rozkladu vstupujúceho rastlinného materiálu reprezentuje pomer DPM/RPM. V modeli ROTH-C-26.3 je pôdny organický uhlík rozdelený do štyroch aktívnych zložiek a malého množstva inertnej organickej hmoty (IOM). Štyri aktívne zložky predstavujú :

- rozložiteľný rastlinný materiál (DPM : decomposable Plant Material)
- rezistentný rastlinný materiál (RPM: resistant Plant Material)
- mikrobiálna biomasa (BIO)
- humifikovaná organická hmota (HUM)

Uhlík vstupujúci z rastlinných zvyškov je rozdelený medzi DPM a RPM v závislosti od pomeru DPM/RPM vstupujúceho rastlinného materiálu. Pre väčšinu poľnohospodárskych plodín a kosených tráv je pomer DPM/RPM=1.44.

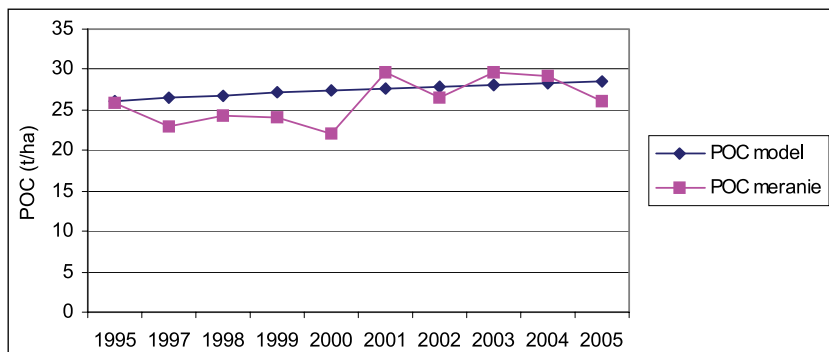
Osevný postup, úrody jednotlivých plodín, hnojenie maštalným hnojom (MH) a ďalšie agrotechnické údaje z jednotlivých lokalít sú uvedené v priebežnej správe Detekcia a cieľná regulácia pôdnych zdrojov SR vo vzťahu ku klimatickej zmene ( SOBOČKÁ A KOL., 2006). Priemerné vstupy uhlíka rastlinných a koreňových zvyškov, resp. maštalného hnoja pre jednotlivé lokality sú uvedené v tabuľke 1.

Porovnanie modelovaných a experimentálne zistených hodnôt POC bolo uskutočnené na základe strednej kvadratickej odchýlky RMSE.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

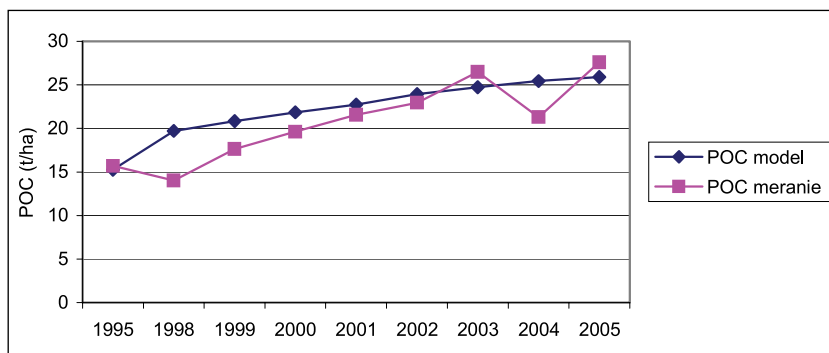
### **Validácia modelu ROTH-C: Porovnanie modelových a experimentálne stanovených údajov POC za obdobie 1994-2005.**

Zhoda medzi modelovými a experimentálne stanovenými hodnotami POC bola na základe strednej kvadratickej odchýlky najlepšia na lokalite Macov s hodnotou RMSE=10%. Najväčší rozdiel medzi modelovými a stanovenými hodnotami pôdneho organického uhlíka bol zistený v roku 2000 (Obr.2). Počas pozorovaného obdobia (1995-2005) vidíme, že modelové hodnoty POC v priebehu 10 rokov vzrástli o 2,5 t/ha. Nárast bol pozorovaný aj u stanovených hodnotách POC, ale pokiaľ v prípade modelových hodnôt bol nárast organického uhlíka v priebehu hodnoteného obdobia postupný, u experimentálne stanovených hodnôt POC bol tento nárast medzi rokmi 2000 a 2001 skokový. Na tejto lokalite bol testovaný aj vplyv klimatických parametrov (predovšetkým teploty) na modelovanie zásob POC. Výsledky tohto testovania sú uvedené v inej našej práci (BARANČIKOVÁ, 2007).



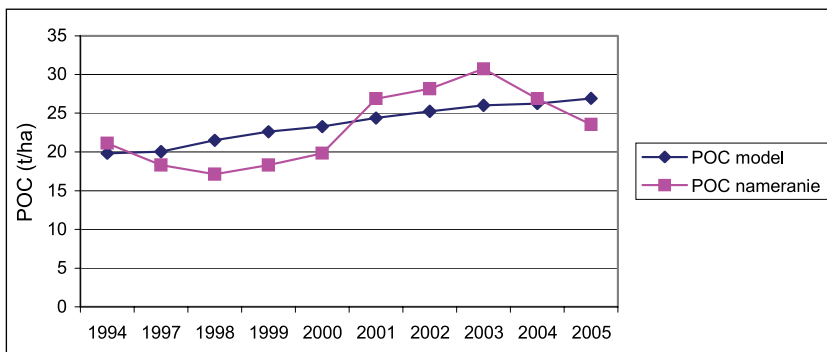
Obr. 2 Porovnanie modelových a nameraných údajov POC (t/ha) na lokalite Macov.  
Comparison of modelled and measured data of SOC (t/ha) on Macov locality

Dobrá zhoda medzi modelovými a experimentálne stanovenými hodnotami POC bola zistená aj na lokalite Istebné (RMSE=13,8%). Aj na tejto lokalite je zreteľne viditeľný nárast POC ako v prípade modelových tak aj v prípade nameraných hodnôt (Obr.3). Na tejto lokalite boli zistené dva extrémny medzi modelovými a nameraných údajmi. Prvý na začiatku sledovaného obdobia (1998) a druhý v r. 2004.



Obr. 3 Porovnanie modelových a nameraných údajov POC (t/ha) na lokalite Istebné.  
Comparison of modelled and measured data of SOC (t/ha) on Istebné locality

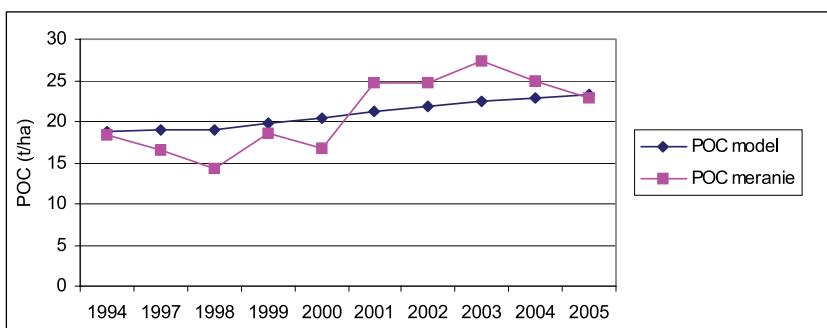
Identická hodnota RMSE (13,8%) ako v prípade lokality Istebné bola zistená aj medzi modelovými a nameranými hodnotami POC na lokalite Nacina Ves. Aj na tejto lokalite v priebehu monitorovania je evidentný nárast hodnôt organického uhlíka, ale pokiaľ v prípade modelu je tento nárast pozvoľný, namerané hodnoty majú skôr sínusoidný charakter (Obr.4). Aj na lokalite Nacina Ves, podobne ako na lokalite Macov, bol testovaný vplyv teploty na modelované hodnoty POC (BARANČIKOVÁ, 2007).



Obr. 4 Porovnanie modelových a nameraných údajov POC (t/ha) na lokalite Nacíná Ves.  
Comparison of modelled and measured data of SOC (t/ha) on Nacíná Ves locality

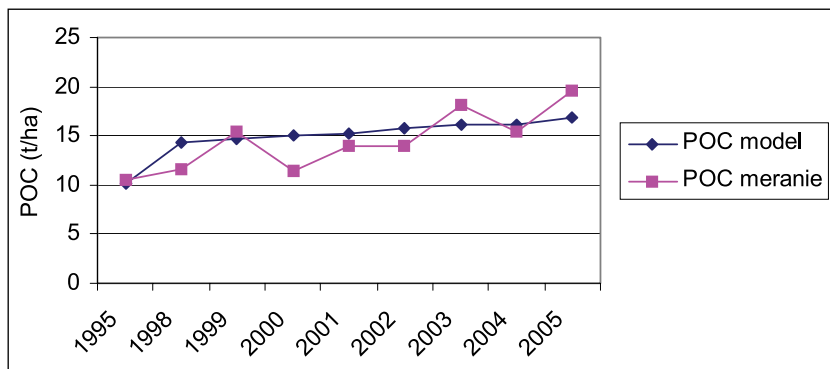
Relatívne podobná zhoda ako na dvoch predchádzajúcich lokalitách, medzi modelovými a nameranými hodnotami pôdneho organického uhlíka, bola zistená aj na lokalite Liesek (RMSE=14,2 %). Aj na tejto lokalite podobne ako na všetkých predchádzajúcich lokalitách je evidentný postupný nárast POC v prípade výstupu modelu ROTH-C. Namerané hodnoty POC boli v priebehu monitorovania v sledovanom období značne kolísavé a podobne ako na lokalite Macov a Istebné je evidentné zvýšenie koncentrácie organického uhlíka medzi rokmi 2000 a 2001.

Identická hodnota strednej kvadratickej odchýlky (RMSE=14,2%) ako na lokalite Liesek bola zistená aj na lokalite Moravský Ján. Aj na tejto lokalite, podobne ako vo všetkých predchádzajúcich, bol zistený nárast modelových aj nameraných hodnôt POC za sledované obdobie (Obr.6). Na uvedenej lokalite boli hodnoty POC najnižšie, nakoľko sa jedná o regozem arenický s veľmi nízkou hodnotou ílovej frakcie (Tabuľka 1).



Obr. 5 Porovnanie modelových a nameraných údajov POC (t/ha) na lokalite Liesek  
Comparison of modelled and measured data of SOC (t/ha) on Liesek locality





Obr. 6 Porovnanie modelových a nameraných údajov POC (t/ha) na lokalite Moravský Ján  
Comparison of modelled and measured data of SOC (t/ha) on Moravský Ján locality

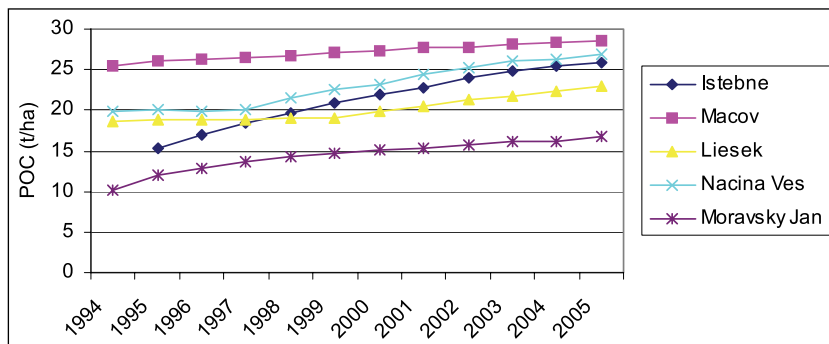
Napriek nedostatočným údajom o vstupe uhlíka z rastlinných zvyškov, resp. MH (SOBOCKÁ A KOL., 2006) zhoda medzi nameranými a modelovanými hodnotami POC bola uspokojivá, keďže na všetkých sledovaných lokalitách sa hodnoty RMSE pohybovali v rozmedzí 10-14,2%. V literatúre sa hodnoty RMSE modelu ROTH C na dlhotrvajúcich poľných experimentoch pohybujú v rozpätí 2-30% (SMITH A KOL. 1997, FALLOON A SMITH, 2002). V najnovšej práci pri testovaní ROTH C na výsledkoch dlhotrvajúcich experimentoch pôd severnej Číny sa hodnoty RSME pohybovali do 20% a s vylúčením extrémnych hodnôt dosiahli 7.8% (GUO A KOL., 2007). Aj v našom prípade boli zistené značné rozdiely v hodnotách POC nameraných v priebehu monitoringu na danej lokalite, čo sa následne odrazilo pri porovnaní modelovej a nameranej hodnoty POC. V našom prípade však monitorovacia doba bola príliš krátka (10 rokov), takže nebolo možné extrémne hodnoty pri štatistickom hodnotení vylúčiť. Jednou z príčin kolísania meraných hodnôt Cox môže byť skutočnosť, že v priebehu 10 ročného monitorovacieho cyklu sa hodnoty Cox stanovovali v štyroch rôznych pracoviskách (Prešov, Snina, Nitra, Bratislava).

Napriek vyššie zmieneným skutočnostiam sa však domnievame, že Roth C model s dostatočnou presnosťou dokáže modelovať reálne hodnoty pôdneho organického uhlíka v orných pôdach Slovenska na rôznych pôdnych typoch, zrnitostnom zložení aj v rozdielnych klimatických podmienkach.

### Zhodnotenie vývoja jednotlivých zložiek pôdneho organického uhlíka v priebehu modelovania

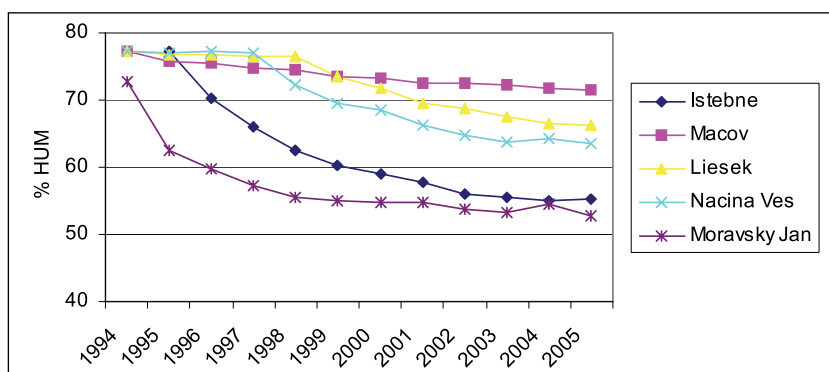
Pri porovnaní modelových hodnôt POC vidíme, že na všetkých lokalitách došlo v priebehu modelovaného 10 ročného obdobia k nárastu POC, pričom najmenší nárast bol zaznamenaný na relatívne stabilnej a dobre humifikovanej čiernici (lokalita Macov) a najvyšší na kambizemi glejovej (Istebné), ktorej stabilita pôdneho organického uhlíka je v porovnaní s čiernicou oveľa nižšia (Obr.7). Základným parametrom, ktorý ovplyvňuje hodnoty POC je vstup uhlíka (rastlinné

a koreňové zvyšky, maštalný hnoj), ktorý bol jednoznačne najvyšší v prípade lokality Istebné. Pomerne nízke vstupy uhlíka boli zistené na regozemi (Moravský Ján) s najnižšou počiatočnou hodnotou POC, avšak na tejto lokalite bol tiež zaznamenaný značný nárast modelových hodnôt POC v priebehu sledovaného obdobia. Uvedenú skutočnosť môžeme vysvetliť minimálnym obsahom ílovej frakcie na tejto lokalite, takže biochemické procesy na tejto lokalite môžu byť podstatne rýchlejšie ako v prípade pôd s niekoľko násobne vyšším obsahom ílovej frakcie (COLEMAN A JENKINSON, 2005).



Obr. 7 Vývoj POC v priebehu modelovania na jednotlivých kľúčových lokalitách  
Progress in SOC during modelling period on individual key localities

Pôdny organický uhlík v modeli ROTH-C je rozdelený do štyroch aktívnych zložiek, z ktorých každá má charakteristický polčas rozpadu. Najrýchlejšie sa rozkladá rozložiteľný rastlinný materiál s konštantou rozkladu  $10 \text{ rok}^{-1}$  a najpomalšie humifikovaná organická hmota ( $k=0,02 \text{ rok}^{-1}$ ). Uvedené rozdelenie POC verne odráža reálne množstvá organického uhlíka v jednotlivých pôdnych frakciách, nakoľko Zimmermann a kol. (2007) zistili signifikantné korelácie medzi organickým uhlíkom v meraných frakciách a modelovaných zložkách. Nakoľko rýchlosť rozkladu humifikovanej zložky POC je najpomalšia, najvyššie percentuálne zastúpenie

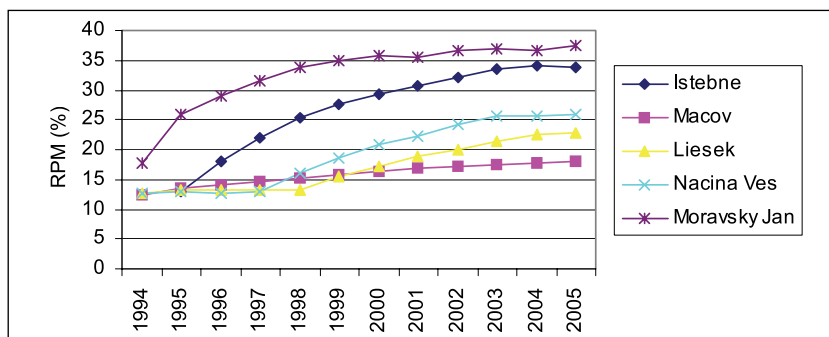


Obr. 8 Zmeny v percentuálnom zastúpení humusu v priebehu modelového obdobia  
Changes in humus percentage during modelling period

z celkového POC má humifikovaný organický uhlík (HUM), ktorý môže predstavovať takmer 80% z POC.

Na začiatku modelového obdobia percentuálne zastúpenie humusu bolo na štyroch hodnotených lokalitách takmer identické a predstavovalo 77% z POC. Na lokalite Moravský Ján, s extrémne nízkym zastúpením ílovej frakcie, HUM predstavoval 72%. V priebehu 10 rokov modelového obdobia percentuálne zastúpenie humusu na všetkých lokalitách kleslo, pričom najvyšší pokles bol zaznamenaný na lokalite Istebné a Moravský Ján a najnižší na lokalite Macov (Obr. 8).

Opačný trend mali zmeny v rezistentnej frakcii (RPM), ktorá na začiatku modelovania na štyroch lokalitách predstavovala okolo 12%, na lokalite Moravský Ján 17% a v priebehu modelového obdobia jej podiel na POC stúpol (Obr. 9), pričom na všetkých lokalitách bolo percento zvýšenia RPM takmer identické s poklesom HUM. Najvyššie zvýšenie RPM a teda aj najvyššie zníženie HUM (cca 20%) bolo zaznamenané na lokalite Istebné s najvyšším vstupom uhlíka a na lokalite Moravský Ján, s najnižším obsahom ílovej frakcie a teda najvyššou rýchlosťou biochemických procesov, a najmenšie zmeny v percentuálnom zastúpení RPM a HUM boli zistené na lokalite Macov (cca 5%). Zaujímavosťou sú však zmeny v týchto aktívnych zložkách POC na lokalitách Nacina Ves a Liesek. Na oboch lokalitách boli rozdiely vo vstupoch ako aj vo výstupoch C takmer dvojnásobné, ale zmeny v zložke HUM a RPM takmer identické. Uvedená skutočnosť môže byť vysvetlená výrazne vyšším zastúpením ílovej frakcie na lokalite Nacina Ves ako na lokalite Liesek. Vysoká hodnota ílovej frakcie môže brániť rýchlemu rozkladu humifikovanej organickej hmoty na úkor vstupujúceho rastlinného materiálu.



Obr. 9 Zmeny v percentuálnom zastúpení RPM v priebehu modelového obdobia  
Changes in RPM percentage during modelling period

Podiel mikrobiálnej biomasy (BIO) a rozložiteľného rastlinného materiálu (DPM) na pôdnom organickom uhlíku je veľmi nízky, takže aj zmeny v týchto aktívnych zložkách POC boli malé. Nakoľko obe tieto zložky disponujú vysokými hodnotami rozkladných konštánt, ich podiel sa v priebehu modelovania zvyšoval, pričom najvyššie hodnoty BIO a DPM na konci modelovania boli zistené na lokalite Istebné a najnižšie na lokalite Macov (Tabuľka 2). Značné zmeny v týchto aktívnych zložkách POC v porovnaní s ostatnými lokalitami, hlavne na začiatku

modelovania, boli zaznamenané aj na lokalite Moravský Ján, čo opäť súvisí s extrémne nízkou hodnotou ílovej frakcie na tejto lokalite.

**Tab. 2.** *Percentuálne zastúpenie zložiek BIO a DPR z POC*  
*Percentage of BIO and DPR compartments from SOC stock.*

rok	Macov	Macov	Liesek	Liesek	Naciná Ves	Naciná Ves	Istebné	Istebné	Moravský Ján	Moravský Ján
	%BIO	%DPM	%BIO	%DPM	%BIO	%DPM	%BIO	%DPM	%BIO	%DPM
1994	2.0249	0.6208	2.0535	0.7003	2.07422	0.76311			1.909108	0.8013
1995	2.0727	1.197	2.0952	0.9031	2.11585	0.76236	2.052	0.67341	2.679295	2.9842
1996	2.195	0.8629	2.1417	0.5805	2.14741	0.40803	2.346	2.81747	3.027363	2.8123
1997	2.2487	0.9834	2.1296	0.8586	2.14243	0.67992	2.702	3.42086	3.301336	2.6616
1998	2.3317	0.7218	2.133	0.8075	2.25185	2.74415	3.068	3.43587	3.518498	2.5335
1999	2.3564	1.2779	2.2753	2.0507	2.57406	2.81236	3.323	3.38571	3.709554	1.6185
2000	2.4939	0.7588	2.5465	1.8723	3.01989	1.29252	3.548	3.14308	3.761549	1.2792
2001	2.5136	1.048	2.7004	2.5363	3.03232	2.55653	3.747	2.78355	3.695646	1.5346
2002	2.5784	0.7141	2.9422	1.8136	3.35071	1.8546	3.776	3.71372	3.787379	1.5047
2003	2.6335	0.7422	3.1074	1.8288	3.56723	1.41521	4.095	2.41219	3.801625	1.6847
2004	2.6492	0.9782	3.267	1.7325	3.56988	1.1486	4.129	2.41855	3.815477	0.6251
2005	2.6592	0.9363	3.2887	1.7522	3.54468	1.63335	4.074	2.51691	3.782373	2.0345

## ZÁVER

Na základe výsledkov získaných z porovnania nameraných a modelových hodnôt pôdneho organického uhlíka môžeme konštatovať, že ROTH-C model je vhodný na aplikáciu prognózovania stavu POC aj v našich klimatických a pôdnych podmienkach.

Aj keď modelové hodnoty POC sú predovšetkým ovplyvňované vstupom uhlíka z rastlinných zvyškov a maštalného hnoja, pri extrémne nízkych hodnotách ílovej frakcie (lokalita Moravský Svätý Ján) v pôde dochádza k rýchlejších biochemickým pôdnym reakciám, ktorých výsledkom (hlavne v počiatočných fázach modelovania za predpokladu, že vstup uhlíka v rovnovážnom stave sa dostatočne líši od vstupu C v modelovom období) môže byť rýchlejšia akumulácia POC v prvej fáze modelovania, ktorej intenzita sa v ďalšom období ustalaže.

V priebehu modelovania dochádza aj k značným zmenám v rámci jednotlivých frakcií POC. Nakoľko najvyššie percentuálne zastúpenie predstavuje frakcia HUM a RPM zmeny v priebehu modelovania nastali hlavne v týchto frakciách POC, pričom v priebehu modelovania % humusovej frakcie kleslo a % RPM stúplo. Najvýraznejšie zmeny v týchto frakciách boli zaznamenané na lokalite Istebné, s najvyšším inputom uhlíka a na lokalite Moravský Svätý Ján s najnižším zastúpením ílovej frakcie.

Záverom môžeme konštatovať, že ROTH-C 26.3 model s dostatočnou presnosťou dokáže modelovať reálne hodnoty POC v orných pôdach Slovenska rôznych pôdnych typoch a je

vhodný na prognózovanie stavu pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska.

## POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0333-06.

## LITERATÚRA

- BARANČIKOVÁ, G., VAN WESEMAEL, B., LETTENS, S., ROELANDT, C. 2005. *Application of ROTH C-26.3 Model at the regional scale; a case study for Belgian agricultural soils*. In Zborník z konferencie: Humic Substances in Ecosystems 6, Bratislava : VÚPOP, 9-12.
- BARANČIKOVÁ, G., POSPÍŠILOVÁ, Ľ. 2006. *Simulácia stavu pôdneho organického uhlíka na dlhotrvajúcom experimente za použitia modelu ROTH C 26.3. Pedogeneza a kvalitatívni zmeny pôd v podmínkach prírodných a antropicky ovplyvnených území*. In Šarapatka, B., Bednář, M. (eds.) Sborník referátů z 11. pedologických dnů Kouty nad Desnou, 20.-21.9.2006. Olomouc : Univerzita Palackého, 97-102.
- BARANČIKOVÁ, G. 2007. *Vplyv klimatických parametrov na modelovanie zásob pôdneho organického uhlíka modelom ROTH C*. In STRELCOVÁ, K., ŠKVARENINA, J., BLAŽENEC, M. (eds.) Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September, 17-20. s. 6
- COLEMAN, K., JENKINSON, D. S., CROCKER, G. J., GRACE, P. R., KLIR, J., KORSCHENS, M., POULTON, P. R., RICHTER, D. D. 1997. *Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3*. Geoderma, 81, 29-44.
- COLEMAN, K., JENKINSON, D.S. 2005. *ROTHC-26.3 a model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide*, November 1999 issue (modified April, 2005), 45 s., [http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26\\_3\\_win.pdf](http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26_3_win.pdf)
- ECKELMANN, W., BARITZ, R., BIALOUSZ, S., BIELEK, P., CARRÉ, F., HOUKOVÁ, B., JONES, R.J.A., KIBBLEWHITE, T., KOZÁK, J., LE BAS, C., TÓTH, G., TÓTH, T., VARALLYAY, G., HALLA, M., Y., ŽUPAN, M. 2006. *Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats*. European Soil Bureau Research Report No. 20, EUR 22185 EN, 94 s. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- FALLOON, P. D., SMITH, P., SMITH, J. U., SZABO, J., COLEMAN, K., MARSHALL, S. 1998a. *Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases*. Biology and Fertility of Soils, 27, 236-241.
- FALLOON, P., SMITH, P., COLEMAN, K., MARSHALL, S. 1998b. *Estimating the size of the inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use in the Rothamsted carbon model*. Soil Biol. Biochem., 30, 8/9, 1207-1211.
- FALLOON, P., SMITH, P. 2002. *Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and CENTURY: model evaluation for a regional scale application*. Soil Use and Management, 18, 101-111.
- FALLOON, P., SMITH, P., SZABO, J., PASZTOR, L., 2002. *Comparison of approaches for estimating carbon sequestration at the regional scale*. Soil Use and Management, 18, 164-174.
- FALLOON, P., SMITH, P. 2003. *Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections*. Soil and Use Management, 19, 265-269.
- GUO, L., FALLOON, P., ZHOU, B., LI, Y., LIN, E., ZHANG, F. 2007. *Application of the RothC model to the results of long-term experiments on typical upland soils in northern China*. Soil Use and Management, 23, 63-71.
- JONES, R.J.A., HIEDERER, R., RUSCO, E., LOVELAND, P.J., MONTANARELLA, L. 2004. *The map of organic carbon in topsoils in Europe*, Versin 1.2, European Soil Bureau Reserch Report No. 17, EUR 21209 EN, 26 s., 1 map in ISO B1 format.
- JURČOVÁ, O., BIELEK, P. 1997. *Sources, losses and balance of soil organic matter*. In: Zborník z konferencie: Humic Substances in Environment 1, Polish Humic Substances Society, 9-12.
- SHAW, E. 1994. *Hydrology in practice*. London, Chapman & Hall, 259-271.
- SMITH, P., SMITH, J. U., POWLSON, D. S., MCGILL, W. B., ARAH, J. R. M., CHERTOV, O. G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKING, S., JENKINSON, D. S., JENSEN, L. S., KELLY, R. H. M., KLEIN-GUNNEWIEK, H., KOMAROV, A. S., LI, C., MOLINA, J. A. E., MUELLER, T., PARTON, W.J., THORNEY, J. H. M., WHITMORE, A. P. 1997. *A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments*. Geoderma, 81, 153-225.
- SMITH, J., SMITH, P., WATTENBACH, M., ZAEHLE, S., HIEDERER, R., JONES, R. J. A., MONTANARELLA, L., ROUNSEVELL, M., REGINSTER, I., EWERT, F. 2005. *Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990-2080*. Global Change Biology, 11, 2141-2152.
- SMITH, J., SMITH, P., WATTENBACH, M., GOTTSCHALK, P., ROMANENKOV, V. A., ŠEVCOVA, L. K., SIROTENKO, O. D., RUKHOVIČ, D. I., KOROLEVA, P. V., ROMANENKO, I. A., LISOVOJ, N. V. 2007. *Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine, 1990-2070*. Global Change Biology, 13, 342-354.
- SOBOČKÁ, J., BALKOVIČ, J., BARANČIKOVÁ, G., DODOK, S., JAĎUDA, M., ŠKALSÝ, R., ŠURINA, B., TRASOVIČOVÁ, Z., VILČEK, J. 2006. *Detekcia a cieľná regulácia pôdnych zdrojov SR vo vzťahu ku klimatickej zmene*. Priebežná správa, VÚPOP, Bratislava. 134 s.

- VAN WESEMAEL, B., LETTENS, S., ROELANDT, C., VAN ORSHOVEN, J. 2004. *Changes in soil carbon stocks from 1960 to 2000 in the main Belgian cropland areas*. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 8, 133-139.
- VAN WESEMAEL, B., LETTENS, S., ROELANDT, C., VAN ORSHOVEN J. 2005. *Modelling the evolution of regional carbon stocks in Belgian cropland soils*. Can. J. Soil Sci., 85, 511-521.
- ZIMMERMANN, M., LEIFELD, J., SCHMIDT, M. W. I., SMITH, P., FUHRER, J. 2007. *Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model*. European Journal of Soil Science, 58, 658-667.
-

# VÝSKUM V OBLASTI OCHRANY A UDRŽATEĽNÉHO VYUŽÍVANIA PÔDY – AKTUÁLNE ÚLOHY A PERSPEKTÍVY S PRIHLIADNUTÍM NA PODMIENKY SLOVENSKA

## THE RESEARCH IN AREA OF SUSTAINABLE SOIL USE AND PROTECTION - ACTUAL TASKS AND PERSPECTIVES WITH REGARD TO SLOVAK CONDITIONS

**Radoslav BUJNOVSKÝ**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava*

### ABSTRACT

Soil, as one of the basic components of environment, influences not only production of plant and animal products but also majority of environmental issues and many socio-economic aspects of human life. To the main problems of soil research, recently being solved in Slovakia, belongs: i) analysis, evaluation, modelling the evolution of soil parameters in time as a base for efficient soil preservation and mitigation of risk originating from climate change, and ii) creation of spatial information for multifunctional soil use in the landscape. Basic problems for research, which results will be fully used for creation of European and national soil policy, will in next period include also detection and prediction of soil properties&quality and soil degradation, as well as creation of information utilisable at soil evaluation, the proposals of sustainable soil use and efficient protection.

Interdisciplinary and cross-sectoral research in area of soil/landscape use and protection will be oriented on reaching long-term goals in harmony with basic principles of life: functionality, adaptability and sustainability. Soil research will unequivocally head towards decrease of negative externalities arising from incorrect or improper soil use that in long-term perspective determinate sustainable soil use and the amount of financial costs that are/will be connected with regulatory measures and increased production costs. Creation of digital information and knowledge systems permanently reconfiguring contents and goals of application will be the main area of soil research development, soil use and its protection. Besides traditional observation of soil use in the landscape, research will be more oriented on searching for ways and methods to detect soil properties with use of remote sensing techniques.

Evaluation of natural resource use (soil inclusive) presumes in-depth analysis of factors

---

causing or promoting creation of soil degradation processes or restricted adaptation of efficient measures. Mentioned involves also action of individuals in relation to use of natural resources. Consequently, the need to connect the endeavour of environmental research together with sociological one to obtain answer on basic question arises: **why don't the soil users want or are unable to prevent the accelerated degradation of environment, including soil?** The validity of (till now absenting) research, closely related to soil use and protection, increases, from the view of soil quality and other environmental issues provision as a basic demand determining quality of human life in long-term horizon.

Solution of interdisciplinary oriented projects will presume extending cooperation among institutes in area of modelling natural processes in landscape, economic evaluation of environmental issues, as well as evaluation of the social and sociological aspects of soil use/protection in landscape. Creating national research centres of excellence represents one way of building cross-sector oriented research. Results of soil research must reach practical life. At the transfer of knowledge and spatial information into practice, the importance of development of information and expert systems on use of soil and landscape will increase.

**KEYWORDS:** soil research, soil, sustainable use, spatial information, transfer of soil research results

## ABSTRAKT

Pôda, ako jedna zo základných zložiek životného prostredia, ovplyvňuje nielen produkciu rastlinných a živočíšnych komodít, ale aj väčšinu environmentálnych zdrojov a mnohé socio-ekonomické aspekty ľudského života. Hlavné problémy výskumu pôdy, riešené v súčasnom období v podmienkach Slovenska predstavujú: i) analýza, hodnotenie, modelovanie vývoja parametrov pôdy v čase ako východisko pre účinnú ochranu pôdy a zmierňovanie rizík v dôsledku klimatickej zmeny a ii) tvorba priestorových informácií pre multifunkčné využitie pôdy v krajine. Zásadné problémy pre výskum, výsledky ktorého budú plne využiteľné pre formovanie európskej a domácej politiky v oblasti pôdy, budú aj v ďalšom období zahrňovať tak detekciu a predikciu vlastností a kvality pôdneho krytu vrátane degradácie pôdy, ako aj tvorbu informácií využiteľných pri hodnotení pôdy, návrhu spôsobov jej udržateľného využívania a efektívnej ochrany.

Interdisciplinárny a medziodvetvový výskum v oblasti využívania a ochrany pôdy a krajiny bude orientovaný na dosahovanie dlhodobých cieľov, ktoré sú v súlade so základnými princípmi života: funkčnosť, prispôsobivosť a udržateľnosť. Pôdny výskum bude jednoznačne smerovať k znižovaniu negatívnych externalít vznikajúcich z nesprávneho resp. nevhodného využívania pôdy, ktoré z dlhodobého hľadiska rozhodujú o udržateľnom využívaní pôdy resp. O finančných nákladoch, ktoré sú/budú spojené s nápravnými opatreniami a budú zvyšovať náklady výroby. Tvorba digitálnych informačných a poznatkových systémov permanentne rekonfigurujúcich obsahy a ciele svojho pôsobenia bude rozhodujúcou oblasťou rozvoja výskumu pôdy, jej využitia a ochrany. Okrem tradičných sledovaní využitia pôdy v krajine bude

---



výskum viac orientovaný na hľadanie spôsobov a metód detekcie vlastností pôdneho krytu za využitia metód DPZ.

Hodnotenie využívania prírodných zdrojov (vrátane pôdy) predpokladá hĺbkovú analýzu faktorov spôsobujúcich resp. podporujúcich vznik degradačných procesov pôdy prípadne zabraňujúcich prijatie účinných opatrení. Uvedené zahŕňa tiež správanie jednotlivcov vo vzťahu k využívaniu prírodných zdrojov. Z uvedeného dôvodu vzniká potreba spojiť úsilie environmentálneho výskumu spolu so sociologickým výskumom, aby sa získala odpoveď na základnú otázku: **prečo užívatelia pôdy často nechcú alebo nie sú schopní predchádzať akcelerovanej degradácii prírodného prostredia, vrátane pôdy?** Aktuálnosť zatiaľ absentujúceho výskumu v uvedenej oblasti, úzko súvisiacej s ochranou a využívaním pôdy, narastá z hľadiska zabezpečenia kvality pôdy a ostatných zložiek prírodného prostredia ako základnej požiadavky určujúcej kvalitu života ľudskej civilizácie v dlhodobom časovom horizonte.

Riešenie interdisciplinárne zameraných výskumných projektov bude predpokladať rozšírenie spolupráce inštitúciami v oblasti modelovania prírodných procesov v krajine, v oblasti ekonomického hodnotenia zložiek prírodného prostredia a v neposlednom rade hodnotenia sociálnych a sociologických aspektov využívania a ochrany pôdy v krajine. Budovanie národných excelentných centier výskumu predstavuje jeden zo spôsobov budovania infraštruktúry medziodvetovo orientovaného výskumu. Výsledky výskumu pôdy musia byť uplatniteľné v praktickom živote. Pri prenose získaných poznatkov a priestorových informácií do praxe bude čoraz viac narastať význam tvorby a zdokonaľovania informačných a expertných systémov o využití pôdy a poľnohospodárskej krajiny.

**Kľúčové slová:** pôda, výskum pôdy, udržateľné využívanie, priestorové informácie, transfer výsledkov výskumu pôdy

## ÚVOD

Výskum v oblasti ochrany a využívania pôdy v krajine bol v minulosti zameraný na klasifikáciu, mapovanie a hodnotenie vlastností pôdy, ako aj vývoj analytických metód zisťovania hodnôt pôdných parametrov a spôsobov hodnotenia ich zmien v čase resp. V priestore vo väzbe na optimalizáciu usporiadania a využívania pôdneho fondu v krajine, využitie produkčného potenciálu pôdy a intenzifikačných vstupov čo plne zodpovedalo požiadavkám predchádzajúceho obdobia. Spoločenský vývoj v poslednom období ovplyvnil nielen pokles poľnohospodárstva na tvorbe HDP, zmenu vlastníckych vzťahov k pôde, ale aj zníženie „monopolného“ postavenia produkčnej schopnosti pôdy pri hodnotení kvality pôdy v odborných kruhoch. Vstup Slovenska do Európskej únie akceleroval zmeny aj v poľnohospodárskej politike štátu, kde čoraz viac rezonuje požiadavka ochrany prírodných zdrojov. Priestorové informácie o pôde a jej vlastnostiach sa stávajú samozrejmosťou nielen pre oblasť výskumu, ale aj pre podporu rozhodovania v štátnej správe a užívateľov pôdy. Zdrojom poznatkov a informácií o pôde, jej využívaní a potrebe ochrany je dlhodobý cielený a komplexný výskum v oblasti pôdy a krajiny. Výskum v oblasti využívania a ochrany pôdy a ostatných prírodných zdrojov vzhľadom na ich

---

celospoločenský význam je vysoko aktuálny. Ako uviedol komisár EK pre vedu a výskum Janek Potočník v roku 2005, „človek aj napriek prejavom svojej nadradenosti je svojou existenciou stále viazaný na tenkú vrstvu pôdy“. Túto skutočnosť treba mať na zreteli tak pri zabezpečovaní udržateľného využívania prírodných zdrojov a rozvoja spoločnosti, ako aj pri námetovaní ďalšieho výskumu v danej oblasti.

## MATERIÁL AND METÓDY

Príspevok hodnotí doterajšie aktivity výskumu a vývoja v oblasti ochrany a udržateľného využívania pôdy a diskutuje predpokladané smery a priority výskumu, podmienky jeho realizácie a uplatňovania výsledkov výskumu v praxi v stredne dobom časovom horizonte.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Hlavné tematické okruhy výskumu pôdy riešené v poslednom období

Tvorba nových a aktualizácia existujúcich poznatkov o vlastnostiach a funkciách pôdneho krytu SR, spolu s modelovaním a tvorbou optimalizačných programov multifunkčného využívania pôdy a jej ochrany pred degradačnými procesmi, je trvalou súčasťou výskumu v oblasti pôdy a krajiny. Hlavné problémy výskumu pôdy, riešené v súčasnom období v podmienkach Slovenska možno rozdeliť do dvoch základných skupín:

A: Analýza, hodnotenie, modelovanie vývoja parametrov pôdy v čase ako východisko pre účinnú ochranu pôdy vrátane zmierňovania rizík v dôsledku klimatickej zmeny

- harmonizácia národných systémov monitoringu a metód rozborov pôdy
- hodnotenie vývoja parametrov a ohrození pôdneho krytu SR za účelom jeho ochrany a udržateľného využívania, ako aj vo vzťahu k regulácii vplyvu klimatickej zmeny na pôdu
- tvorba údajov a databáz pre hodnotenie dopadov opatrení navrhovaných pre zvyšovanie sekvestrácie uhlíka ako skleníkového plynu v oblasti poľnohospodárstva prípadne lesníctva.

B: Tvorba priestorových informácií pre multifunkčné využitie pôdy v krajine

- hodnotenie a priestorová diferenciacia vybraných ekologických funkcií pôdy vo vzťahu k potenciálom multifunkčného využitia pôdy v poľnohospodárskej krajine
- tvorba priestorových informácií a informačných produktov o pôde a poľnohospodárskej krajine pre strategické plánovanie a operatívne rozhodovanie na úrovni štátnej správy, samosprávy a užívateľov pôdy.

Pôda, ako jedna zo základných zložiek životného prostredia, ovplyvňuje nielen produkciu rastlinných a živočíšnych komodít, ale aj väčšinu environmentálnych zdrojov a mnohé socio-ekonomické aspekty ľudského života. V zmysle toho sa v poslednom období tradičný pôdoznalecký výskum začína orientovať na širšie koncipované problémy, akými sú hodnotenie

---

kvality pôdy a jej funkcií, degradačných procesov a využívania pôdy vo vzťahu k formovaniu jej kvality, ako aj využitie metód diaľkového prieskumu Zeme pre tvorbu informácií o pôdnom kryte a jeho využívaní v krajine.

### **Predpokladané hlavné smery a priority výskumu v oblasti pôdy a jej využitia v krajine stredne dobom časovom horizonte**

Udržateľný rozvoj a tvorba životného prostredia spolu s využitím krajinného priestoru sa zaraďujú ku kľúčovým témam európskeho výskumu súvisiaceho s pôdou. Posledné aktivity v rámci EÚ v súvislosti s prípravou Rámcovej smernice o pôde indikujú potrebu posilnenia výskumu v oblasti pôdy, zameraného na zvýšenie jej ochrany. Zásadné problémy pre výskum, výsledky ktorého budú plne využiteľné pre formovanie európskej a domácej politiky v oblasti pôdy, budú aj v ďalšom období zahrňovať tak detekciu a predikciu vlastností a kvality pôdneho krytu vrátane detekcie degradácie pôdy, ako aj tvorbu informácií využiteľných pri hodnotení pôdy, návrhu spôsobov jej udržateľného využívania a efektívnej ochrany.

Nemenej významnou bude riešenie problematiky retencie vody v pôde a krajine ako súčasť riešenia preventívnych a adaptačných opatrení na zmierňovanie celospoločenských dopadov klimatickej zmeny. Z čiastkových tém výskumu pôdy (pričom zoznam nie je uzavretý) možno uviesť nasledovné:

- štandardizácia a harmonizácia metód pre hodnotenie stavu a vývoja parametrov kvality pôdy vrátane použitia metód priestorovej interpretácie výsledkov
- štúdium a modelovanie pôdnych procesov (vrátane degradačných) prostredníctvom matematických modelov vrátane verifikácie týchto modelov
- priestorová identifikácia rizikových oblastí výskytu rozhodujúcich degradačných procesov pôdy
- vývoj metód hodnotenia vplyvu využívania pôdy a globálnej zmeny klímy na parametre, vlastnosti, funkcie a kvalitu pôdy a vplyv degradácie pôdy na ostatné zložky prostredia (voda, ovzdušie, biota a pod.) vrátane socio-ekonomických dopadov
- vymedzenie kritérií/limitov potenciálu pôdy a jej využívania
- budovanie informačných systémov o pôde a krajine pri využití metód diaľkového prieskumu Zeme
- vývoj systémových a operatívnych opatrení na elimináciu týchto ohrození preventívneho a regulačného charakteru.

Ako vyplýva z prác viacerých autorov (napr. BOUMA, 2006; KOOHAFKAN, 1998; LAL, 2006; SPARKS, 2006), potenciál základného aj aplikovaného výskumu v oblasti pôdy prekračuje hranice sektoru pôdohospodárstva, čo jasne potvrdzujú aj trendy ďalšieho rozvoja výskumu v tejto oblasti v podmienkach EÚ a ostatných vyspelých krajín sveta. V nasledovnom období bude potrebné posilniť riešenie medziodvetvových problémov pri formovaní nových disciplín vznikajúcich na rozhraní medzi jestvujúcimi. Ako uvádza PETERSEN (2006), v budúcnosti je potrebné sústrediť pozornosť na úlohu pôdy v ekosystéme a krajine, je potrebné vstúpiť do oblasti systémových analýz, integrácie výsledkov a poznatkov do riešení na úrovni krajiny.

---

Interdisciplinárny a medziodvetvový výskum v oblasti využívania a ochrany pôdy a krajiny bude orientovaný na dosahovanie dlhodobých cieľov, ktoré sú v súlade so základnými princípmi života: funkčnosť, prispôsobivosť a udržateľnosť. Pôdny výskum bude jednoznačne smerovať k znižovaniu negatívnych externalít vznikajúcich z nesprávneho resp. nevhodného využívania pôdy, ktoré z dlhodobého hľadiska rozhodujú o udržateľnom využívaní pôdy resp. O finančných nákladoch, ktoré sú/budú spojené s nápravnými opatreniami a budú zvyšovať náklady výroby.

Informácie o stave pôdy a využití krajiny vytvárajú základné podmienky pre kvalitu rozhodovacieho procesu na štátnej úrovni pri hospodárskom, ekologickom a sociálnom rozvoji. Z uvedeného dôvodu bude pokračovať proces postupnej integrácie informácií týkajúcich sa vlastností a využitia pôdy v krajine s informáciami o stave a vývoji ďalších zložiek prostredia vo väzbe na socio-ekonomické aspekty regionálneho rozvoja. Ako vyplýva z viacerých prác (BIELEK, 2006; SOBOČKÁ, 2003), požiadavka na tvorbu digitálnych informačných a poznatkových systémov permanentne rekonfigurujúcich obsahy a ciele svojho pôsobenia sa stáva rozhodujúcou oblasťou rozvoja výskumu pôdy, jej využitia a ochrany. Okrem tradičných sledovaní využitia pôdy v krajine bude výskum viac orientovaný na hľadanie spôsobov a metód detekcie vlastností pôdneho krytu s využitím metód DPZ, čo podľa BOUMU (2006) by mohlo znížiť závislosť na existujúcich údajových databázach, využitie ktorých má určité limity.

Trvalo udržateľné využívanie a účinná ochrana prírodných zdrojov vrátane pôdy, ako uvádza GORDON et al. (2001), predpokladá tak dostatočné a dostupné informácie, dostatočné kapacity pre prijatie potrebných opatrení v praktickom živote, ale aj motiváciu pre trvalo udržateľné využívanie pôdy, vody a ostatných prírodných zdrojov. V súlade s názormi LAMBINA (2005), hodnotenie využívania prírodných zdrojov (vrátane pôdy) predpokladá hĺbkovú analýzu faktorov spôsobujúcich resp. podporujúcich vznik degradačných procesov pôdy prípadne zabráňujúcich prijatie účinných opatrení. Uvedené zahrňuje tiež správanie jednotlivcov vo vzťahu k využívaniu prírodných zdrojov. Už koncom minulého storočia BLAIKIE A BROOKFIELD (1987) upozorňovali na potrebu spojiť úsilie environmentálneho výskumu spolu so sociologickým výskumom, aby sa získala odpoveď na základnú otázku: **prečo užívatelia pôdy často nechcú alebo nie sú schopní predchádzať akcelerovanej degradácii prírodného prostredia, vrátane pôdy?** Aktuálnosť zatiaľ absentujúceho výskumu v uvedenej oblasti, úzko súvisiacej s ochranou a využívaním pôdy, narastá z hľadiska zabezpečenia kvality pôdy a ostatných zložiek prírodného prostredia ako základnej požiadavky určujúcej kvalitu života ľudskej civilizácie v dlhodobom časovom horizonte.

### **Podmienky rozvoja výskumu pôdy v nasledovnom období**

Výskum pôdy v podmienkach Slovenska bude čoraz viac orientovaný na progresívne celoeurópske trendy zahrňujúce širšie aspekty trvalo udržateľného rozvoja. Riešenie interdisciplinárne zameraných výskumných projektov predpokladá zvýšenie vzájomnej spolupráce inštitúcií.

Základným predpokladom ďalšieho rozvoja výskumu v oblasti pôdy a krajiny je pokračovanie v dlhoročnej spolupráci medzi domácimi inštitúciami zabezpečujúcimi tento druh vý-

skumu. Riešenie interdisciplinárne zameraných výskumných projektov bude predpokladať rozšírenie spolupráce s inštitúciami v oblasti modelovania prírodných procesov v krajine, v oblasti ekonomického hodnotenia zložiek prírodného prostredia a v neposlednom rade hodnotenia sociálnych a sociologických aspektov využívania a ochrany pôdy v krajine. Budovanie národných excelentných centier výskumu predstavuje jeden zo spôsobov budovania infraštruktúry medziodvetvovo orientovaného výskumu, čo osobitne platí v oblasti udržateľného využívania pôdy a ostatných zložiek prostredia.

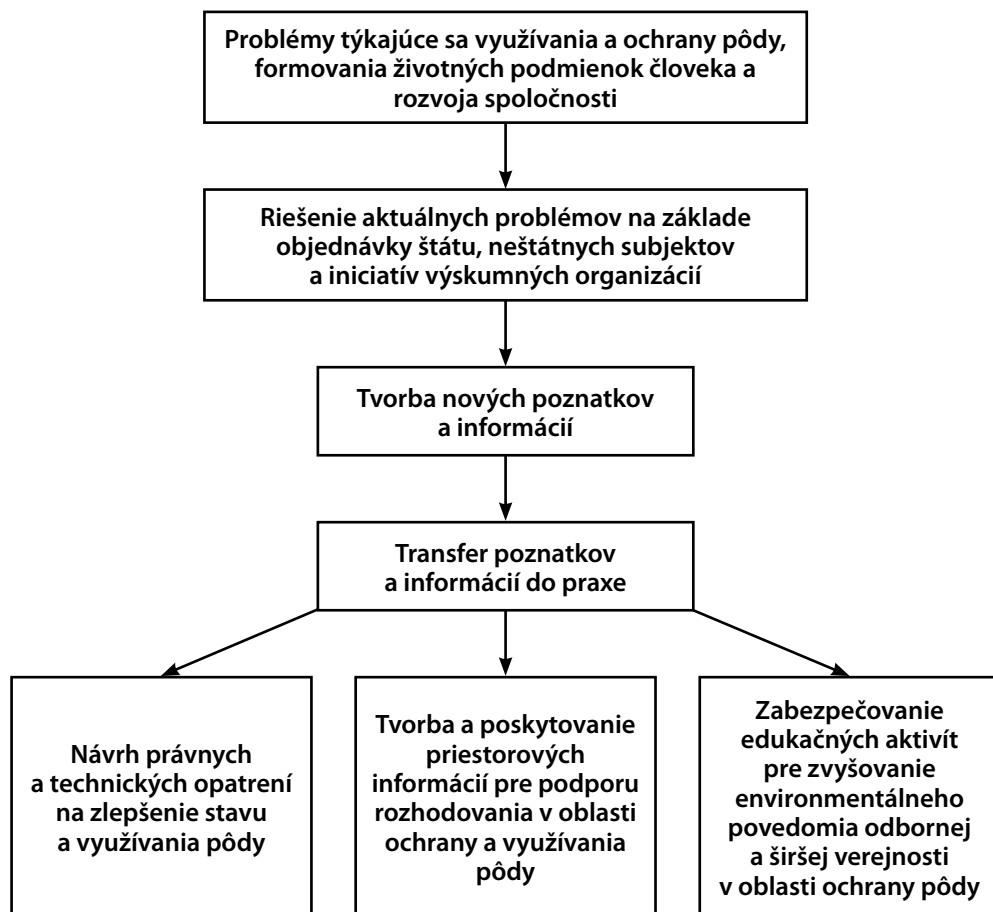
Zabezpečenie financovania výskumu pôdy je jednou zo základných podmienok jeho ďalšieho rozvoja. Ako uvádza BIELEK (2006), financovanie environmentálneho výskumu vrátane ochrany prírodných zdrojov, podmienok života obyvateľstva a zraniteľnosti spôsobu života na vidieku spadá do kompetencie štátu. V rámci vytýčených vecných priorít výskumu a vývoja s výskumom pôdy súvisia nasledovné:

- zdravie – kvalita života (bezpečné, zdravé a kvalitné potraviny, ekologizácia poľnohospodárstva)
- využívanie, ochrana a reprodukcia biologických zdrojov (funkcie pôdneho krytu, multifunkčné využívanie pôdy a jej ochrana pred degradáciou)
- ochrana životného prostredia (výskum a vývoj v oblasti opatrení voči negatívnym dôsledkom klimatickej zmeny).

Relatívne nízka podpora výskumu zo strany štátu v poslednom období (0,39% HDP – odhad pre rok 2007) je jedným zo závažných obmedzení pre jeho udržanie, resp. rozvoj v blízkej budúcnosti. Ako vyplýva z návrhu dlhodobého zámeru vednej a technickej politiky SR do roku 2015, v roku 2015 sa predpokladá financovanie výskumu na úrovni 1,8% HDP, pričom 2/3 sa uvažuje z podnikateľského sektora a 0,6% zo strany štátu. Naplnenie tohto cieľa sa nutne premieta do požiadaviek zabezpečenia spolufinancovania projektov štátnych programov aj z podnikateľských zdrojov v pomere 1:1, ako aj zabezpečenia spolufinancovania projektov štátnych programov rozvoja infraštruktúry z podnikateľských zdrojov v pomere 1:2 (štát/podnikateľský sektor) v ďalších rokoch. Pri odvetvovom výskume sa predpokladá podiel spolufinancovania z podnikateľských zdrojov až do výšky 50–75%. Určitú rezervu pre pôdny a environmentálny výskum predstavuje participácia slovenských inštitúcií na Európskom výskume, ktorý svojou komplexnosťou spravidla prekračuje rámec jedného odboru. Štát však ani v ďalšom období nebude spolufinancovať riešenie projektov 7. RP EÚ, ale zabezpečovať komplementaritu financovania riešenia problematiky v rámci dvoch projektov (napr. 7. RP EÚ a projekt APVV).

### **Transfer výsledkov výskumu a vývoja**

Ako uvádza ESWARAN (2006), výskum pôdy musí vytvárať také poznatky a informácie, ktoré budú zmysluplné a reálne využiteľné v spoločnosti. Úloha pôdoznaleckého výskumu spočíva tak v tvorbe nových a aktualizácii existujúcich poznatkov, ako aj aplikácii resp. využití týchto poznatkov pri praktickom využívaní a ochrane pôdy pred degradačnými procesmi. Výskum v oblasti pôdy a jej udržateľného využívania nadväzuje na spoločenskú objednávku a jeho pokračovaním je uplatnenie poznatkov a informácií v praxi čo znázorňuje obr. 1.



Obr. 1 Trajektória výskumu v oblasti ochrany a využívania pôdy a transferu poznatkov do praxe

Z hľadiska prenosu získaných poznatkov a priestorových informácií do praxe bude čoraz viac narastať význam tvorby a zdokonaľovania informačných a expertných systémov o využití pôdy a poľnohospodárskej krajiny. Informačné produkty sú v súčasnosti dostupné prostredníctvom **Pôdneho portálu** na webovej stránke <http://www.podnemapy.sk/>. Uvedený typ informácií bude nachádzať široké uplatnenie v poľnohospodárskej a environmentálnej praxi, ako aj pri národohospodárskom plánovaní, v rozvoji regiónov a vidieckej krajiny, pri uplatňovaní ekonomických nástrojov v poľnohospodárstve (dotácie, odvody), pri regulácii záberov pôdy a pod. Svojou povahou, výstupy riešenia napĺňajú informačné poradenstvo (teda ponuku informácií) v oblasti ochrany a využívania poľnohospodárskej pôdy a krajiny.

Ako potvrdzujú názory viacerých autorov (BOUMA, 2006; BUJNOVSKÝ et al., 2004; ESWARAN, 2006; KOOHAFKAN, 1998; VAN CAMP et al., 2004; YAALON, ARNOLD, 2000), z hľadiska zlepšenia ochrany a využívania pôdy je potrebné zabezpečiť otvorený dialóg medzi pôdozncami, tvorcami politik, štátnou správou a širokou verejnosťou tak, aby odborná a široká verejnosť bola pripravená akceptovať získané výsledky a poznatky, a aby mohla formulovať svoje požiadavky na výskum

v danej oblasti. Nezastupiteľnú úlohu má a bude mať prenos poznatkov výskumu a vývoja do vzdelávacieho procesu na vysokých školách, čo súvisí s formovaním environmentálneho povedomia v odbornej časti spoločnosti.

## LITERATÚRA

- BIELEK, P. 2006. *Polnohospodárska veda – mýty a skutočnosti*. Bratislava: VÚPOP. 11 s.
- BLAIKIE, P., BROOKFIELD, H. (eds.) 1987. *Land Degradation and Society*. London: Methuen. 296 pp.
- BOUMA, J. 2006. *Future of soil science*. In: HARTEMINK, A.E. (ED.) The future of soil science. Wageningen: IUSS, 22-24
- BUJNOVSKÝ, R., ANTAL, J., BALKOVIČ, J., BIELEK, P., BUBLINEC, E., CEBECAUER, T., FULAJTÁR, E., GERGELOVÁ, Z., HOLÚBEK, R., HUBA, M., HRNČIAROVÁ, T., JURÁNI, B., KOVÁČ, K., MINĐÁŠ, J., PAVLENDÁ, P., SOBOCKÁ, J., ŠIŠKA, B., ŠKVARENINA, J., ŠÚTOR, J., THALMEINEROVÁ, D. 2004. *National capacity self-assessment related to environmental management of global conventions. The thematic assessment report of capacity development needs for the Convention to combat desertification in those countries experiencing serious droughts and/or desertification, particularly in Africa*. Ministry of the Environment SR – Ministry of Agriculture SR – UNDP/GEF, 34 pp.
- ESWARAN, H. 2006. *Future of soil science*. In HARTEMINK, A. E. (ed.) The future of soil science. Wageningen: IUSS, 40-42
- GORDON, J., VINCENT, D., HABERKORN, G., MACGREGOR, C., STAFFORD-SMITH, M., BRECKWOLDT, R. 2001. *Indicators within a decision framework: social, economic and institutional indicators for sustainable management of the rangelands*. Report. National Land and Water Resources Audit, Canberra, 113 p.
- HARTEMINK, A. E. (ED.) 2006. *The future of soil science*. Wageningen: IUSS. 165 pp.
- KOOHAFKAN, P. 1998. *The challenges of soil science and sustainable development*. In Proceedings of 16th World Congress of soil science (CD ROM). ISSS-AISS-IBG-SICS.
- LAL, R. 2006. *Soil science in the era of hydrogen economy and 10 billion people*. In HARTEMINK, A. E. (ed.) The future of soil science. Wageningen: IUSS, 76-79
- LAMBIN, E. F. 2005. *Conditions for sustainability of human-environment systems: Information, motivation, and capacity*. In Global Env. Change 15, 177-180
- PETERSEN, G. W. 2006. *Soil science: multiple scales and multiple opportunities*. In: HARTEMINK, A. E. (ed.) The future of soil science. Wageningen: IUSS, 108-109
- SOBOCKÁ, J. 2003. *Inovačné metódy a technológie pôdneho výskumu, klasifikácie a hodnotenia pôd*. In SOBOCKÁ, J., JAMBOR, P. (eds.) Druhé pôdoznalecké dni v SR. Zborník z konferencie. Bratislava: VÚPOP – SPS, 31-40
- SPARKS, D. 2006. *The future of soil science*. In HARTEMINK, A. E. (ed.) The future of soil science. Wageningen: IUSS, 131-132
- Van Camp, L. et al. 2004. *Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection*. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities. 872 pp.
- YAALON, D. H., ARNOLD, R. W. 2000. *Attitudes toward soils and their societal relevance: Then and now*. In Soil Science, 165, 5-12

# HODNOTENIE STAVU ZNEČISTENIA PÔD POLYCYKlickÝMI AROMATICkýMI UHĽOVODÍKMI V BLÍZKOSTI FREKVENTOVANÝCH CIEST MESTA BRATISLAVA

## EVALUATION OF THE STATE OF SOIL POLLUTION BY POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SURROUNDING OF FREQUENT BRATISLAVA ROADS

**VLADIMÍR GREČO, PAVOL BEZÁK, KATARÍNA HRIVŇÁKOVÁ, JANA FRIČOVÁ**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava*

### ABSTRACT

In the last years, the frequency of car transportation and emissions significantly rose in Bratislava. This paper gives some review of soil contamination by PAH gathered on 10 sample places all around Bratislava next to main roads. The sum of sixteen PAH was in range from 0,193 to 4,876 mg/kg. The sample from PKO was highly contaminated with overall PAH at 21,32 mg/kg. In all the isolated and monitored samples, higher concentration of PAH with several aromatic rings prevailed. Concentrations of PAH with two or three aromatic rings were lower.

In Slovakia, Law No. 220/2004 is in force. It determines limit values of PAH for agricultural soils. However, current legislation does not set limit values for soils in surrounding of roads, industrial facilities, settlements, or children playgrounds and parks. Even these places face to impacts of various contaminants the monitored pollutants belong to.

**Key words:** polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), mobility of PAH, transportation infrastructure, sampling

### ABSTRAKT

V Bratislave sa v posledných rokoch podstatne zvýšila frekvencia dopravy a s ňou aj množstvo automobilových emisií. Tento príspevok dáva prehľad o kontaminácii pôd s PAH na desiatich odberných miestach v Bratislave v blízkosti hlavných cestných ťahov. V pôdach sa suma šesťnástich PAH pohybovala v intervale 0,193-4,876 mg/kg. Vzorka odobratá pri PKO bola vysoko kontaminovaná s hodnotou celkových PAH 21,32 mg/kg. Vo všetkých odobratých

---



a sledovaných vzorkách prevládali vyššie koncentrácie PAH s viacerými aromatickými kruhmi. Koncentrácie PAH s dvomi a tromi aromatickými kruhmi boli nižšie.

Na Slovensku je v platnosti Zákon č. 220/2004, ktorý určuje limitné hodnoty PAH pre poľnohospodárske pôdy, avšak súčasná národná legislatíva neurčuje limitné hodnoty pre pôdy v okolí ciest, priemyselných objektoch, sídliskách, či detských ihriskách, a parkoch, hoci aj tieto priestory bývajú vystavené vplyvom rôznych kontaminantov medzi ktoré nepochybne patria aj sledované organické polutanty.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** polycyklické aromatické uhľovodíky(PAH), mobilita PAH, cestné komunikácie, odber vzoriek

## ÚVOD

Polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH) predstavujú skupinu organických kontaminantov, ktoré majú negatívny vplyv na zdravie človeka. Môžu spôsobovať dráždenie očí, nosa, hrdla a priedušiek. Pri styku s pokožkou, môžu spôsobovať dráždenie alebo alergiu pokožky. Vysoké koncentrácie PAH môžu spôsobovať bolesti hlavy, poškodiť červené krvinky, pečeň a obličky atď. Mnohé látky so skupiny polycyklických aromatických uhľovodíkov sú považované za látky vyznačujúce sa karcinogénnymi vlastnosťami.

Väčšina pôd v mestách je zaťažená hodnotami PAH približne v množstvách 0,6-3 mg/kg pôdy avšak vyššie hodnoty PAH sú pravdepodobné v oblastiach s vysokou frekvenciou dopravy. Pri odbere cestných prachov z frekventovaných ciest sa našli koncentrácie PAH v množstvách 8-336 mg/kg (Menzie et al., 1992). Pri frekventovaných križovatkách sa našli v pôde hodnoty PAH v množstvách 6,7-25,9 mg/kg (AMIT MASIH et al., 2005). V niektorých štúdiách sa poukazuje na fakt, že sa znižuje koncentrácia polycyklických aromatických uhľovodíkov so vzrastajúcou vzdialenosťou od ciest. Napr. ŠEBOR a kol.(1995) zistili, že pri kontaminácii životného prostredia z dopravy, sa koncentrácie PAH vo vzdialenosti väčšej ako 30 m od ciest rovnajú prakticky pozadovým hodnotám polycyklických aromatických uhľovodíkov. V ďalšej štúdií (BRYSELBOUT et al., 2000) týkajúcej sa distribúcie PAH v okolí ciest sa poukazuje na fakt, že najviac koncentrované v tesnej blízkosti ciest sú PAH s mutagénnymi a karcinogénnymi vlastnosťami, napr. benzo(a)pyrén. Tieto sú pri dažďoch často splavované na povrch ciest a môžu predstavovať nebezpečenstvo pre vodičov, pretože sa môžu vyskytovať ich vysoké koncentrácie v cestných prachoch, ako to bolo už spomenuté vyššie. Nakoniec treba ešte spomenúť vplyv pôdy na koncentrácie PAH v okolí cestných komunikácií. Mobilita PAH v pôde je ovplyvnená obsahom organických látok v pôde ako aj od typu pôdy, či je hlinitá, piesočnatá pôda atď. Pri mobilite PAH v pôdach treba zobrať do úvahy aj adsorbčné schopnosti pôdy, tlak vodných pár v pôde a rozpustnosť PAH vo vode. Polycyklické aromatické uhľovodíky s nízkym počtom aromatických kruhov, ako napr. naftalén, acenaftén a acenaftylén, sa vyznačujú vysokou mobilitou v pôde, pretože sú rozpustnejšie vo vode ako PAH s viacerými kruhmi. PAH so štyrmi a viacerými kruhmi sa vyznačujú len obmedzenou mobilitou v pôdach, preto sa dajú čakať aj vyššie hodnoty viackruhových PAH v pôdach v porovnaní s PAH s doma alebo tromi kruhmi (FIEDLER et al., 1997).

V Bratislave sa hlavne v posledných rokoch podstatne zvýšila frekvencia dopravy oproti minulosti. Áut na cestách v meste je podstatne viac, a tento stav je spôsobený prírastkom áut obyvateľov mesta, ale aj návštevníkmi mesta. Vzhľadom na to, že olovo sa do benzínov už viac nepridáva, sú v súčasnej dobe polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH) hlavnými zdraviu škodlivými látkami ktoré vznikajú pri spaľovaní pohonných hmôt a ktoré kontaminujú životné prostredie. PAH sú toxikologickým a ekologickým problémom mesta. Preto sa aj naša pozornosť sústredila na najviac frekventované úseky ciest v Bratislave aby sa zistila kontaminácia pôd vedľa ciest.

## MATERIÁL A METÓDY

Odber vzoriek za účelom stanovenia polycyklických aromatických uhľovodíkov bol vykonaný na základe medzinárodných noriem (ISO 10381-1, 2002; ISO 10381-4, 2003). Miesta odberov boli zvolené na miestach s najväčšou dopravnou vyťaženosťou v rámci mesta Bratislavy, tak aby bola pokrytá čo najväčšia oblasť mesta. Jedná sa o nasledovných 10 lokalít:

1. Rožňavská ul. (vzorka bola odobratá pri križovatke ulíc Rožňavská a Bojnická, z okraja cesty)
2. Vajnorská ul. (vzorka bola odobratá pri križovatke s Bojnickou v tesnej blízkosti cesty pri výjazde z benzínovej pumpy)
3. Einsteinova ul. (miesto odberu bolo blízko čerpacej stanice ÖMV)
4. PKO – nábrežie (vzorka bola odobratá v páse medzi cestou a chodníkom na nábreží Dunaja)
5. Mlynská dolina – ZOO (odber sa vykonal blízko križovatky nachádzajúcej sa pri ZOO)
6. Panónska ul. pri Danúbii (odber sa vykonal zo zeleného ostrovčeka pri odbočovaní k Danúbii)
7. Karloveská ul. (odber vzorky sa vykonal približne 2 metre od cesty)
8. Nákupné centrum Hornbach (vzorka sa odobrala na kraji diaľnice)
9. Harmincova ul. – Zimný štadión (vzorka bola odobratá zo zeleného pásu naproti zimnému štadiónu)
10. Gagarinova ul. (odber vzorky sa vykonal z trávinatej plochy oproti VÚPOP)

Zvolené plochy majú charakter zatrávnovaných pásov alebo ostrovčekov, nachádzajúcich sa v tesnej blízkosti cesty. Vzorky sa odoberali približne vo vzdialenostiach 2 až 3 metre od komunikácie. Na základe toho, že ide o malé plochy bol zvolený systém náhodného vzorkovania bez použitia siete. Počet odobratých čiastkových vzoriek bol závislý od plochy miesta odberu a potrieb analytického postupu. Každá odobratá vzorka sa skladá z troch až piatich čiastkových návrto, ktoré boli odoberané do hĺbky 10 cm. Vzorky sa prepravili v hliníkových vreckách špeciálne určených pre prepravu vzoriek na organickú analýzu. Vrecká sa po každom odbere označili štítkom s označením miesta odberu. Vzorky sa transportovali v prepravných chladničkách a okamžite po preprave sa uskladnili v chladničke určenej na uskladňovanie vzoriek.

---



Obr. 1. Miesta odberu vzoriek

Na analýzu polycyklických aromatických uhľovodíkov sa použila analytická metóda validovaná v rámci projektu HORIZONTAL, na stanovenie PAH v pôdach, kaloch a kompostoch. Analýzy PAH sa vykonali s použitím Varian Saturn 2200 GC/MS.

Navážilo sa 10 g zhomogenizovanej a vysušenej vzorky, ku ktorej sa pridal 1 ml vnútorného štandardu. Potom sa k vzorke pridalo 50 ml acetónu a vzorka sa nechala trepať na trepačke po dobu 30 minút. Po tridsiatich minútach sa pridalo 50 ml petroléru a vzorka pôdy sa extrahovala na trepačke po dobu 12 hodín. Potom sa extrakt kvantitatívne preniesol do deliaceho lievika, ku vzorke sa ešte raz pridalo 50 ml petroléru na premytie extrahovanej vzorky. Petroléter sa pridalo do deliaceho lievika k prvému podielu extraktu, kde sa acetón odstránil po pretrepaní do 400 ml vody. Petroléter sa presušil cez bezvodý síran sodný, extrakt sa skoncentroval na objem 1 ml a naniesol na kolónu s 2 g oxidu hlinitého. Elúcia polycyklických aromatických uhľovodíkov sa vykonala s objemom 10 ml petroléru. Petroléter sa odparil pri 40 °C a pridal sa 1 ml injekčného štandardu. Na kvalitatívne a kvantitatívne vyhodnotenie polycyklických aromatických uhľovodíkov v pôdach bolo potrebné vykonať kalibrácie jednotlivých PAH. Kalibrácie PAH sa vykonali pri šiestich koncentračných hladinách. Analyzovali sa nasledujúce polycyklické aromatické uhľovodíky: naftalén (128), acenaftylén (152), acenaftén (154), fluorén (166), fenantrén (178), antracén (178), fluorantén (202), pyrén (202), benzo(a)antracén (228), chrysén (228), benzo(b)fluorantén (252), benzo(k)fluorantén (252), benzo(a)pyrén (252), ideno(1,2,3-cd)pyrén (276), dibenzo(a,h)antracén (278), benzo(g,h,i)perylén (276).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pri analýze polycyklických aromatických uhľovodíkov v pôdach sa vyhodnotilo 16 látok. Jednotlivé látky sú spomenuté v metóde a aj tabuľke č.2. V tabuľke č. 1 sa nachádzajú sumy jednotlivých PAH, vzhľadom na miesto odberu týchto vzoriek. V tabuľke č. 2 (hodnoty jednotlivých PAH) sú uvedené minimálne a maximálne množstvá jednotlivých PAH odobratých z deviatich odberných miest. Desiate odberné miesto ( PKO ) je uvedené osobitne vzhľadom na veľmi vysoké hodnoty PAH a nebolo zahrnuté do minimálnych, maximálnych a priemerných hodnôt, pretože by značne skreslilo výsledky. Pre porovnanie k týmto vysokým hodnotám jednotlivých PAH nájdeným vo vzorke PKO sú uvedené aj najnižšie hodnoty jednotlivých PAH nájdené vo vzorke odobratej na Rožňavskej. Ďalej sa v tabuľke nachádzajú priemerné hodnoty jednotlivých PAH z deviatich odberných miest, s výnimkou PKO. Pre porovnanie nami nameraných priemerných hodnôt sú priložené priemerné hodnoty PAH vzoriek odobratých v Brandenburgu (Nemecko) v blízkosti cestných komunikácií.

V tejto tabuľke dominujú hlavne polycyklické aromatické uhľovodíky s viacerými aromatickými jadrami. Vyššie PAH sa koncentrujú v pôdach, pretože ich rozpustnosť vo vode je nízka a nie sú z pôd vymývané vodou pri zrážkach. Práve tieto polycyklické aromatické uhľovodíky sú považované za zdraviu najviac škodlivé. Naopak PAH s dvomi a tromi aromatickými kruhmi sú zastúpené v pomerne nízkych hodnotách, vzhľadom na ich lepšiu rozpustnosť vo vode.

Z desiatich odobratých vzoriek sa zistila najvyššia hodnota na nábreží Dunaja pri PKO a to 21,3 mg/kg. Naopak najnižšia hodnota sumy šestnástich PAH sa zistila na Rožňavskej a to 0,19 mg/kg. Priemerná hodnota deviatich odberných miest s výnimkou PKO dosiahla hodnotu 2,180 mg/kg. Táto priemerná hodnota ako aj jednotlivé hodnoty PAH odberných miest sú v súlade s očakávanými hodnotami pre celkové hodnoty PAH, keď v mestách sú očakávané hodnoty 0,6 – 3 mg/kg (TRNKA, URBAN, 1992). V jednotlivých lokalitách sa však dajú zistiť aj vyššie hodnoty PAH, hlavne u pôd kontaminovaných motorovými olejmi. Podľa WEGELINA et al.(1997), štatistické testy nedávajú žiadny významný súvis medzi zaťažením pôd s PAH a frekvenciou dopravy ako aj časovou dĺžkou dopravy. Rovnako korelácia celkových PAH s pH pôdy, množstvom organických látok v pôde a kationová výmenná kapacita pôdy nedáva signifikantné súvislosti. To aj pravdepodobne vysvetľuje pomerne rozdielne koncentrácie celkových PAH v pôdach, nájdené v rôznych lokalitách Bratislavy, pozdĺž cestných komunikácií.

Na Slovensku existuje iba legislatíva (Zákon č. 220/2004 ) pre limitné hodnoty PAH, ktorá sa týka poľnohospodárskej pôdy a táto určuje limitnú hodnotu pre sumu 12-tich jednotlivých PAH 1 mg/kg suchej pôdy ako aj limitné hodnoty pre jednotlivé PAH. Legislatíva, ktorá sa týka limitných hodnôt PAH, pre nie poľnohospodárske pôdy, nie je zavedená v praxi. Aj z tohoto dôvodu je posudzovanie nami nameraných hlavne vyšších hodnôt dosť obťažné, či hodnoty PAH v hladinách 2- 4 mg/kg vedľa komunikácií sú akceptovateľné, alebo nie. Najvyššia hodnota 21,32 mg/kg celkových PAH nájdená pri PKO je desaťkrát väčšia ako je priemer ostatných odobratých vzoriek, a tu sa jednoznačne jedná o silnú kontamináciu pôdy s PAH, ktorej pôvod nie je jasný. Vo Švajčiarsku však vo vzorke odobratej v tesnej blízkosti cesty sa našla hodnota celkových PAH 184 mg/kg (WEGELIN et al.,1997), v Brandenbursku bola najvyššia hodnota

111 mg/kg (Ritschel, 2006), ale aj v niektorých iných odborných publikáciách sa našli koncentrácie PAH vo vysokých množstvách v blízkosti ciest. Práve pri týchto vysokých množstvách celkových PAH pri lokálnych kontamináciách, je potrebné zväziť toxikologické a ekologické hľadisko ako aj možnú sanáciu pôd.

**Tab. 1.** Obsah PAH v jednotlivých lokalitách vyjadrený sumou jednotlivých PAH ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

Miesto odberu	Rožňavská	Vajnorská	Einsteinova	PKO	ZOO	Panónska	Karloveská	Diaľnica	Harmincova	Gagarinova
PAH	193	1801	4876	21321	2322	210	1894	2482	1307	4538

**Tab. 2.** Hodnoty jednotlivých PAH ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAH	naftalén	acenaftylén	acenaftén	fluorén	fenantrén	antracén	fluorantén	pyrén	benzo(a)antracén	chrysén
min	0	0	0	0	0	0	0	0	14	21
max	23	7	48	20	229	66	976	532	283	362
priem	7,66	1,56	14,22	5,68	100,22	23,77	278,22	228,23	130,55	152,89
PKO	17	14	45	34	356	106	1550	1196	1552	1596
Rožňavská	0	0	0	0	0	0	13	0	25	27
Brandenburg	16	5	12	22	160	25	290	263	142	185

benzo(b) fluorantén	benzo(k) fluorantén	benzo(a) pyrén	indeno(1,2,3-cd)pyrén	dibenzo(a,h) antracén	benzo(g,h,i) perylén
35	20	0	21	0	0
630	236	415	979	275	641
319,88	115,55	112,56	407,43	133	177,33
4329	1110	2497	2261	2209	2449
38	30	0	21	0	39
245	73	215	97	28	125

## ZÁVER

Priemerná hodnota 2,180 mg/kg ako aj jednotlivé hodnoty PAH odberných miest sú v súlade s očakávanými hodnotami pre celkové hodnoty PAH v mestách. Z desiatich odobratých vzoriek sa zistila najvyššia hodnota na nábreží Dunaja pri PKO a to 21,3 mg/kg. Naopak najnižšia hodnota sumy šestnástich PAH sa zistila na Rožňavskej a to 0,19 mg/kg. Rozdielne koncentrácie celkových PAH v pôdach, nájdené v rôznych lokalitách Bratislavy, pozdĺž cestných komunikácií nepoukazujú na významný súvis medzi zaťažením pôd s PAH a frekvenciou dopravy ako aj časovou dĺžkou dopravy. Výsledky, ktoré prekračujú limitné hodnoty podľa Zákona č.220/2004 Z.z. O ochrane poľnohospodárskej pôdy, poukazujú na potrebu vytvorenia legislatívneho prostredia aj pre plochy, ktoré nepatria k poľnohospodárskemu pôdnemu fondu, pretože spomenutý

zákon a v ňom uvedené limitné hodnoty riešia kontamináciu poľnohospodársky využívaných pôd. Tieto limitné hodnoty zohľadňujú poľnohospodárske využívanie pôdy pre produkciu potravín a následný obeh týchto polutantov v potravinovom reťazci.

## LITERATÚRA

- ŠEBOR, G., KOŽÁK, P., POSPÍŠIL, M., BLAŽEK, J. *Vlastnosti automobilových benzinů a jejich vliv na životné prostředí*. In Chemické listy. 1995, roč. 89, s. 233–244.
- TRNKA, J., URBAN, J. 1992. *Spalovací motory*. Bratislava: Alfa. 563 s.
- LARENSJO, P. 1999. *Applications of source receptor models using air pollution data in Stockholm*. Stockholm univerzity, Department of analytical chemistry.
- MENZIE, C. A. et al. *Exposure to carcinogenic PAHs in the environment*. In Environmental science and technology, 1992, 26, 1278–1284.
- AMIT MASIH et al. *Investigation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil at Agra, India*. In Journal of environ. science and engg. 2005, Vol. 47, No. 3, 188-193.
- BRYSELBOUT, C., HENNER, P., CARSIGNOL, J., LICHTFOUSE, E. *Polycyclic aromatic hydro-carbons in highway plants and soils. Evidence for local distillation effect*. In Analisis, 2000, 28, No. 4.
- FIEDLER, H., MERTENS, CH., MORGESTERN, M., SCHEIDT, M., HUTZINGER, O. *Stoffverhalten von gaswerkspezifischen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)*. Herausgeber Landesamt für Umweltschutz Baden – Württemberg. 1997.
- ISO 10381-1:2002 *Soil quality, Sampling, Part 1.: Guidance on the design sampling programmes*.
- ISO 10381-4:2003 *Soil quality, Sampling, Part 4.: Guidance on the procedure for investigation of natural, near-natural and cultivated sites*.
- WEGELIN, T., GSPONER, R. *PAK und Schwermetalle in Boden entlang stark befahrener Strassen*, Umweltpraxis Nr. 11/Februar 1997.
- RITSCHHEL, J. *Belastung der Boden des Landes Brandenburg mit PAK und PCB: Akkumulationsfähigkeit und Transfervermögen*, Dissertationarbeit, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 2006.

# PRIESTOROVÁ DIFERENCIÁCIA VYBRANÝCH PÔDNYCH A ENVIRONMENTÁLNYCH VLASTNOSTÍ A ICH VPLYV NA ÚRODU PŠENICE OZIMNEJ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

## SPATIAL VARIABILITY RELATED TO SELECTED SOIL AND LANDSCAPE CHARACTERISTICS AND ITS INFLUENCE ON WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) YIELD

Ján HALAS<sup>1</sup>, Martina NOVÁKOVÁ<sup>2</sup>, Peter SCHOLTZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Soil Science and Conservation Research Institute, Regional centre Prešov, e-mail: halas@vupop.sk

<sup>2</sup>Soil Science and Conservation Research Institute, Bratislava

### ABSTRACT

Submitted paper deals with the problem related to investigation of spatial variability (within-field variability) concerning a) selected soil characteristics (e.g. organic carbon content, soil texture, etc.) and b) another measured characteristics concerning the landscape character (digital terrain model – DTM and NDVI vegetation index). Moreover, the paper attends to identify the character and significance of existing interrelations within the weather-soil-plant system with special emphasis on selected soil properties and winter wheat yield interdependence with the aim to demonstrate, cover and assess differences of winter wheat yield within-field spatial variability in 2005 and 2006.

The experiment has been performed at test site – Selice (Agrodivízia Selice, Ltd.), on selected parcel Žihárec 0001/1 with area of 131.2 ha during two different vegetation periods – in 2005 and 2006. The result of experiments confirmed the existence of within-field spatial variability related to observed soil properties. As well, achieved results indicated significant dependence between the soil properties and winter wheat yield (the yield amount and yield detail spatial variability) and at the same time indicated significant role of the weather in relations within the weather-soil-plant system. In general, due to different weather conditions during two vegetation periods, different correlations between the selected soil characteristics and real winter wheat yield were observed.

**KEYWORDS:** precision farming, within-field spatial variability, weather-soil-plant system, interrelations, correlations, soil properties

---

## ABSTRAKT

Príspevok sa venuje problematike existencie detailnej priestorovej variability (v rámci parcely) týkajúcej sa vybraných pôdných vlastností (obsah organického uhlíka v pôde (Cox), zrnitosť pôdy, resp. obsah jednotlivých zrnitostných frakcií v pôdných horizontoch, obsah živín v pôde, mechanický odpor pôdy (kompakcia pôdy), momentálna vlhkosť pôdy, elektrická vodivosť pôdy) a vybraných environmentálnych (fyzickogeografických) vlastností (DTM, vegetačný index NDVI). V príspevku je zároveň analyzovaná existencia a miera vzájomných vzťahov (korelácií) medzi sledovanými parametrami v rámci systému atmosféra – pôda – rastlina (resp. V rámci vybranej parcely s pestovanou pšenicom letnou f. ozimnou), s dôrazom na analýzu vzťahov medzi pôdnymi vlastnosťami a úrodou pšenice ozimnej (priestorovej variability úrody pšenice ozimnej).

Experiment bol realizovaný v rámci parcely Žihárec 0001/1 (evidenčný kód podľa LPIS-u) s výmerou 131,2 ha počas dvoch sezón – 2004/2005 a 2005/2006. Parcela je obhospodávaná poľnohospodárskym subjektom Agrodivízia Selice, s.r.o. Výsledky experimentu potvrdili predpoklad značnej heterogenity, resp. variability sledovaných parametrov v rámci parcely a významnosť väzieb medzi vlastnosťami pôdy a reálnou úrodou pšenice ozimnej. Zároveň sa zistilo, že variabilitou sledovaných parametrov je možné do značnej miery popísať aj priestorovú variabilitu dosiahnutej úrody pšenice ozimnej. Výsledky analýz poukázali na nezanedbateľný vplyv viacerých faktorov ako: ročníka (priebehu počasia), predovšetkým zrážok – jeho úhrnu a rozdelenia počas vegetačnej sezóny, rovnako výškovej diferenciácie parcely, prítomnosti piesočnatých lavíc s vysokým podielom piesočnatej frakcie a hladiny podzemnej vody, na výšku dosiahnutej úrody pšenice ozimnej v skúmanej lokalite.

**KLÚČOVÉ SLOVA:** precízne (presné) hospodárenie, detailná priestorová (vnútroparcelová, vnútrohonová) variabilita, systém atmosféra – pôda – rastlina, vzájomné vzťahy, korelácia, pôdne vlastnosti

## ÚVOD

Tradičné poľnohospodárstvo (predovšetkým rastlinná výroba) vychádza z predpokladu homogenity (zanedbávania lokálnych rozdielností) pôdných vlastností a produkčnej schopnosti pôdy v rámci jednotlivých parciel poľnohospodárskej pôdy. Uvažovaná homogénnosť parciel sa odráža v aplikácii jednotných (uniformných) technologických postupov (obrábanie pôdy, hnojenie, ochrana, a pod.). Na rozdiel od tradičného poľnohospodárstva, základom precízneho (presného) poľnohospodárstva je aplikácia variabilného manažmentu hospodárenia na pôde, ktorá je podmienená poznaním podrobných, priestorovo lokalizovaných a lokálne špecifických informácií o pôde, resp. prostredí (SCHOLTZ ET AL, 2006; SVIČEK & NOVÁKOVÁ, 2006).

Rozvoj a aplikovanie postupov priestorovo variabilného hospodárenia na pôde je podporený faktom, že lokálna variabilita environmentálnych vlastností prostredia, ako vlastností pôdy, charakteru mikroreliefu, obsahu živín atď., sa vo výraznej miere odráža v nerovnomernom vývoji porastov jednotlivých poľnohospodárskych plodín a prejavuje sa ako vo variabilite



tvorby biomasy a s ňou súvisiacej priestorovej variability úrody, tak aj vo variabilite kvality úrody (SCHOLTZ ET AL, 2007).

Príspevok sa venuje problematike existencie detailnej priestorovej variability (v rámci parcely) týkajúcej sa vybraných pôdných vlastností (obsah organického uhlíka v pôde (Cox), zrnitosť pôdy, resp. obsah jednotlivých zrnitostných frakcií v pôdných horizontoch, obsah živín v pôde, mechanický odpor pôdy (kompakcia pôdy), momentálna vlhkosť pôdy, elektrická vodivosť pôdy) a vybraných environmentálnych (fyzickogeografických) vlastností (DTM, vegetačný index NDVI). V príspevku je zároveň analyzovaná existencia a miera vzájomných vzťahov (korelácií) medzi sledovanými parametrami v rámci systému atmosféra – pôda – rastlina (resp. V rámci vybranej parcely s pestovanou pšenicou letnou f. ozimnou), s dôrazom na analýzu vzťahov medzi pôdnymi vlastnosťami a úrodou pšenice ozimnej (priestorovej variability úrody pšenice ozimnej) počas dvoch poľnohospodárskych sezón (2004/2005 a 2005/2006).

## MATERIÁL A METÓDY

### Záujmové územie

Poľnohospodársky subjekt Agrodivízia Selice, s. r. o. hospodári v jednej z našich najproduktívnejších poľnohospodárskych oblastí. Jeho hospodársky obvod je lokalizovaný na Podunajskej nížine, konkrétne na ľavom brehu Váhu, juhovýchodne od mesta Šaľa. Územie patrí do najteplejšej a veľmi suchej klimatickej oblasti (s priemernou ročnou teplotou približne 10 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok okolo 550 mm). Dominantným faktorom ovplyvňujúcim pôdne pomery územia (prevládajúcim pôdnym typom sú fluvizeme a čiernice) je poloha Selíc na fluviálnom reliéfe Váhu. Územie leží prakticky na rovine, avšak lokálne má značne diferencovaný mikoreliéf (výškové rozdiely predstavujú 1 až 7 m). Experiment bol realizovaný na parcele Žihárec 0001/1 (podľa evidencie LPIS, obr.1) s výmerou 131,2 ha.

Poľnohospodársky subjekt AGRO Divízia s. r. o. Selice prešiel v minulosti transformáciou, v rámci ktorej bola stanovená špecializácia výroby – pestovanie a rotácia štyroch plodín (pšenica, jačmeň, kukurica a lucerna) s hlavným zameraním na kukuricu na zrno (v roku 2007 sa pestuje aj cukrová repa).

### Charakteristika experimentu – zber údajov

V roku 2005 bola v rámci modelovej parcely vytýčená „inteligentná“ sieť na odber pôdných vzoriek, a to na základe vyčlenených zón elektrickej vodivosti pôdy (konduktivity pôdy – EC). V tejto sieti boli vykonané:

- odbery vzoriek na stanovenie zrnitosti (obsahu jednotlivých zrnitostných frakcií) a vlhkosti pôdy z hĺbky 0,05 -0,15 m, 0,20-0,30 m, 0,35-0,45 m, 0,50-0,60 m; vzorky boli odoberaté z 86 odberových miest, čo predstavuje hustotu sondáže 1 vzorka na 1,52 ha;
- merania penetračného odporu pôdy s 10-násobným opakovaním (penetrologger firmy Eijkelkamp) do hĺbky 0,6 m s digitálnou registráciou odporu v 1 cm krokoch; namerané hodnoty odporu pôdy boli následne korigované na štandardnú vlhkosť.

V roku 2006 bola v rámci modelovej parcely vytýčená pravidelná trojuholníková sieť (so stranou 130 m), v ktorej boli odobraté vzorky na stanovenie obsahu organického uhlíka v pôde (C<sub>org</sub>) z hĺbky 0-0,2 m. Vzorky boli odobraté z 89 odberových miest, čo zodpovedá hustote 1 vzorka 1,47 ha.

Laboratórne analýzy odobratých vzoriek pôdy boli vykonané podľa platných metodík VÚPOP. Pri všetkých odberových miestach bola zameraná ich presná lokalizácia (GPS prístrojom s korekciou polohy). Zaznamenané údaje o nadmorskej výške boli následne použité pre tvorbu digitálneho modelu reliéfu (DTM).



Obr. 1 Zájmové územie –  
experimentálna parcela Žihárec  
0001/1, lokalizovaná v rámci  
hospodárskeho obvodu  
Agrodivízie Selice, s. r. o.

Ďalšie, v experimente použité údaje, boli merané a poskytnuté poľnohospodárskym subjektom Agrodivízia Selice, s.r.o. Ide o nasledovné údaje:

- úroda pšenice ozimnej v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005 a 2005/2006
- bola kontinuálne mapovaná a zaznamenávaná počas zberu; mapovacie zariadenie bolo nainštalované na kombajnoch firmy John Deer;
- obsah rastlinám prijateľných živín (P, K, Mg, Ca) a pH, pričom vzorky boli odobraté v roku 2005 z hĺbky 0-0,3 m s hustotou sondáže 1 priemerná vzorka (zložená z 30 čiastkových vpichov) na 5,96 ha; odber bol realizovaný hydraulickým vzorkovačom pripojeným za traktorom;
- hodnoty elektrickej vodivosti pôdy z merania, ktoré bolo realizované na jeseň 2004 systémom VERIS do hĺbky 0-0,3 m a 0 - 0,90 m.

V oboch sledovaných ročníkoch boli k dispozícii aj satelitné obrazové záznamy (zaznamenané satelitnými systémami Landsat, SPOT and NOAA AVHRR) s priestorovým rozlíšením 5 a 10 m (z viacerých časových horizontov zachytávajúcich vývoj vegetácie), ktoré boli použité na sledovanie produkcie biomasy prostredníctvom interpretovaných vegetačných indexov (NDVI a mSAVI). Rovnako boli k dispozícii aj údaje o úhrnoch zrážok a dĺžke slnečného svitu zaznamenané meteorologickou stanicou Žihárec a poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ).

### Charakteristika experimentu – spracovanie údajov

Zaznamenaná poloha odberových miest pôdnych vzoriek a merania odporu pôdy (GPS prístrojom) umožnila geoštatistické spracovanie a následnú interpretáciu priestorovej variability sledovaných pôdnych vlastností a environmentálnych charakteristík (vrátane úrody). Geoštatistické analýzy boli realizované v prostredí ArcGISTM – Geostatistical Analyst™ (JOHNSTON A KOL. 2001) prostredníctvom kriging a spline interpolačných metód. Štatistické analýzy (základné analýzy, regresné analýzy, viacnásobné regresné analýzy) boli realizované v prostredí softvéru STATISTICA (STATSOFT, INC., 2001) s cieľom zmonitorovania vzťahov medzi sledovanými parametrami.

Geoštatistické a štatistické analýzy boli vykonané na parciálnej vzorke výsledkov laboratórnych analýz, preto ich možno považovať len za predbežné výstupy.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Detailná priestorová variabilita (vnútrohonová variabilita)

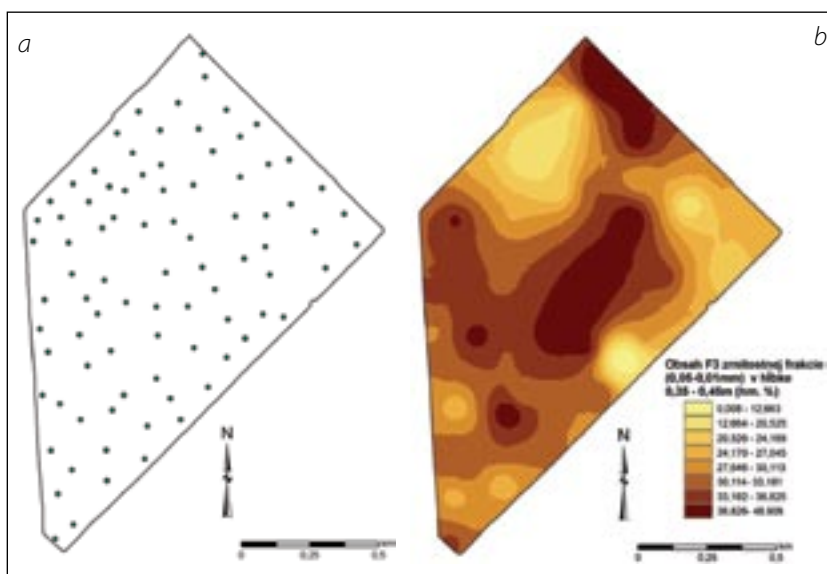
Výsledky základných štatistických a geoštatistických analýz, realizovaných na súborech hodnôt sledovaných pôdnych a environmentálnych parametrov z parcely Žihárec 0001/1, preukázali a potvrdili existenciu detailnej (vnútrohovej) priestorovej (ako vertikálnej, tak aj horizontálnej) variability. Ukážky štatistických vyhodnotení variability vybraných parametrov sú uvedené v tabulkách 1 a 2 (penetračný odpor pôdy – tab. 1; vlhkosť pôdy, obsah organického uhlíka – Cox, pH, obsah živín P, K a Mg – tab. 2); ukážky výsledkov geoštatistických priestorových analýz – interpretácie priestorovo interpolovaných povrchov sledovaných charakteristík, sú prezentované na obr. 2 a 3 (obsah zrnitostnej frakcie hrubého prachu (0,05-0,01) v hĺbke 0,35 až 0,45 m – obr. 2; priestorová variabilita nadmorskej výšky a elektrickej vodivosti pôdy (EC) – obr. 3).

**Tab. 1.** Štatistické vyhodnotenie detailnej priestorovej (vertikálnej) variability mechanického odporu pôdy po korekcii na vlhkosť

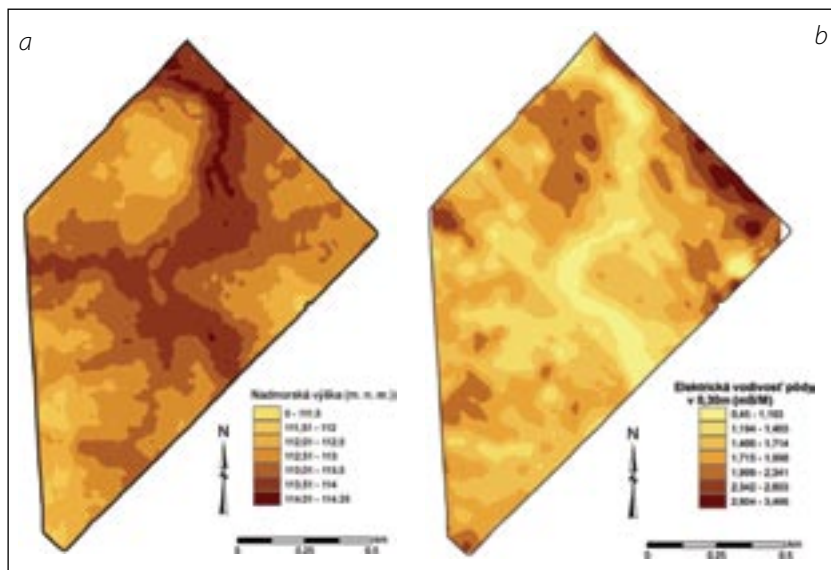
hĺbka pôdy (m)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
priemer (MPa)	1.96	2.31	2.63	2.73	2.71	2.74	2.64	2.68	2.73	2.61	2.61	2.59
minimum (MPa)	0.91	1.18	1.75	1.87	1.87	1.92	1.08	0.99	0.92	0.54	0.55	0.45
maximum (MPa)	3.62	3.43	3.64	3.91	4.24	5.21	4.74	5.10	5.24	4.78	5.07	5.62
smerodajná odchýlka	0.45	0.47	0.42	0.44	0.45	0.53	0.55	0.57	0.62	0.65	0.70	0.77
CV	23.20	20.56	16.15	16.01	16.43	19.20	20.79	21.45	22.62	24.78	26.89	29.72

**Tab. 2.** Štatistické vyhodnotenie detailnej priestorovej variability momentálnej vlhkosti pôdy, obsahu Cox, pH a obsahu živín P, K, M

parameter	vlhkosť 0,05-0,15	vlhkosť 0,35-0,45	vlhkosť 0,5-0,6	Cox	pH	obsah P	obsah K	obsah Mg
	(hmot. %)	(hmot. %)	(hmot. %)	(%)		(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(mg.kg <sup>-1</sup> )
priemer	20.58	20.22	19.42	2.03	7.41	49.89	299.79	502.71
minimum	15.05	7.89	5.14	1.31	7.00	23.00	210.00	354.00
maximum	28.56	32.03	31.81	4.29	8.00	95.00	387.00	1020.00
smerodajná odchýlka	2.88	3.48	4.76	0.41	0.22	18.99	49.10	155.97
CV	13.97	17.22	24.51	20.21	2.93	38.05	16.38	31.03T



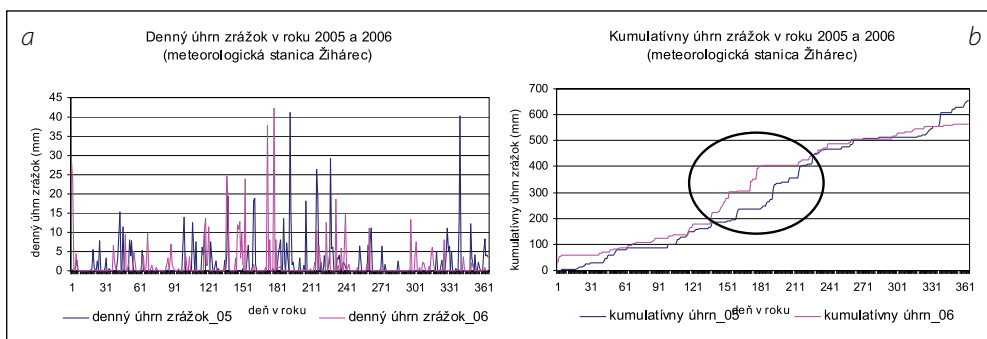
Obr. 2 Obsah zrnitostnej frakcie hrubého prachu v pôde (v hĺbke 0,35-0,45m) – vzorkovacia sieť (3a), interpolovaný povrch (3b) v rámci parcely Žihárec 0001/1



Obr. 3 Variabilita nadmorskej výšky – digitálny model reliéfu (4a) a interpolovaný povrch elektrickej vodivosti pôdy (4b) v rámci parcely Žihárec 0001/1

### Štatistické analýzy – signifikantné vzťahy v systéme atmosféra – pôda – rastlina

Štatistickými analýzami vzťahov v systéme atmosféra - pôda - rastlina bol preukázaný výrazný vplyv charakteru počasia (predovšetkým prostredníctvom úhrnu zrážok a pravidelnosti, či nepravidelnosti ich rozdelenia v priebehu vegetačnej sezóny) na charakter a mieru vzájomných závislostí medzi sledovanými charakteristikami. Rozdielny charakter vývoja zrážkových úhrnov na stanici Žihárec v rokoch 2005 a 2006 je znázornený na obr. 4



Obr. 4 Porovnanie denného úhrnu zrážok (4a) a denného kumulatívneho úhrnu zrážok (4b) na stanici Žihárec v rokoch 2005 a 2006

V roku 2005, ktorý bol v skúmanom území charakterizovaný relatívne nízkym úhrnom zrážok s rovnomernejším rozdelením, a teda suchšími podmienkami najmä v priebehu jari a začiatku leta v porovnaní s rokom 2006, boli na parcele Žihárec, viacnásobnou regresnou analýzou v rámci sledovaných charakteristík (vrátane úrody pšenice ozimnej), preukázané nasledovné vzťahy:

- signifikantná pozitívna korelácia medzi úrodou pšenice ozimnej a obsahom horčička v pôde (korelačný koeficient 0,66);
- signifikantná negatívna korelácia medzi úrodou pšenice ozimnej a výškovými pomermi reliéfu (reprezentovanými digitálnym modelom reliéfu), pričom korelačný koeficient dosiahol hodnotu -0,64;
- signifikantná pozitívna korelácia medzi úrodou pšenice ozimnej a aktuálnou vlhkosťou pôdneho profilu vo všetkých sledovaných hĺbkach (korelačný koeficient sa pohyboval od 0,49 do 0,69);
- signifikantná pozitívna korelácia medzi úrodou pšenice ozimnej a elektrickou vodivosťou pôdy meranou v hĺbke 0,30 m (korelačný koeficient 0,61) a elektrickou vodivosťou pôdy meranou v hĺbke 0,90 m (korelačný 0,82);
- signifikantná pozitívna korelácia medzi úrodou pšenice ozimnej a vegetačnými indexmi (odvodenými zo satelitných obrazových záznamov), pričom korelačný koeficient dosiahol hodnotu 0,72;
- signifikantná pozitívna korelácia medzi úrodou pšenice ozimnej a obsahom ílovej frakcie (častice 0,01-0,001mm) a frakcie ílu (častice < 0,001mm) v hĺbkach a) 0,05 až 0,15m a b) 0,35 až 0,45 m (korelačný koeficient od 0,42 do 0,57)
- pozitívna korelácia medzi úrodou pšenice ozimnej a penetračným odporom pôdy v hĺbke 0,20 až 0,30 m (korelačný koeficient od 0,38 do 0,43).

V roku 2006, ktorý bol v porovnaní s rokom 2005 charakterizovaný vyšším úhrnom zrážok počas vegetačného obdobia pšenice ozimnej, najmä v priebehu jari a na začiatku leta, boli významné korelácie zaznamenané len medzi:

- dosiahnutou úrodou pšenice ozimnej a obsahom fosforu, resp. vápnika v pôde (korelačný koeficient 0,29 a -0,47);
- dosiahnutou úrodou pšenice ozimnej a výškovými pomermi reliéfu (DTM), pričom korelačný koeficient dosiahol úroveň -0,53;
- dosiahnutou úrodou pšenice ozimnej a elektrickou vodivosťou pôdy meranou v hĺbke 90 cm (korelačný koeficient 0,55) a
- medzi dosiahnutou úrodou pšenice ozimnej a obsahom stredného piesku (častice 0,25-2,0 mm) v hĺbke 0,35 až 0,45m (korelačný koeficient -0,31).

Zároveň počas oboch rokov boli preukázané významné vzájomné vzťahy medzi sledovanými pôdnymi charakteristikami navzájom a medzi pôdnymi a ostatnými sledovanými environmentálnymi charakteristikami:

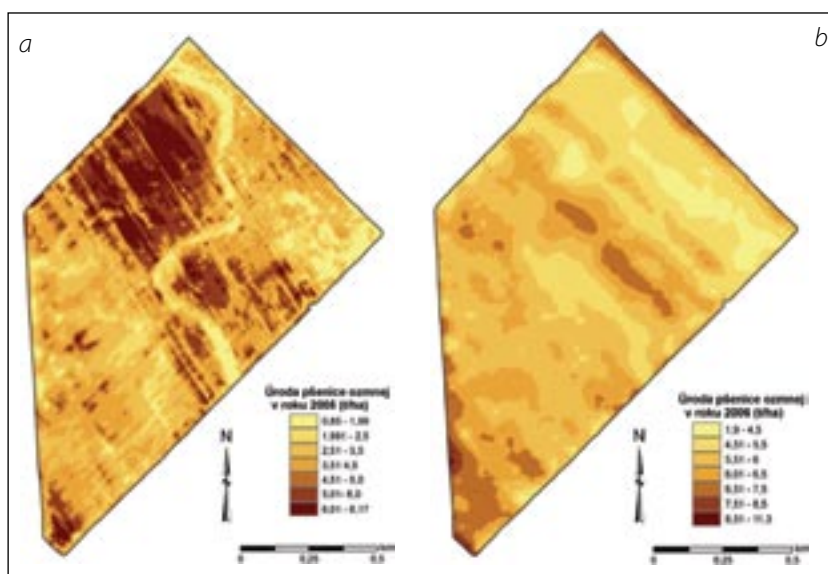
- obsah frakcie F3 (0,05-0,01mm) v hĺbke 0,35 až 0,45 m pozitívne koreloval s výškovými pomermi reliéfu (DTM), pričom korelačný koeficient dosiahol úroveň 0,52; kým obsah jemných zrnitostných frakcií v pôde (F4 – 0,01-0,001mm, F5 – <0,001 mm) v hĺbkach 0,05-0,15 m a 0,35-0,45 m koreloval s DTM negatívne (korelačný koeficient od -0,34 do -0,36);
  - obsah zrnitostných frakcií F4 a F5 v pôde signifikantne pozitívne koreloval s name-
-

raným penetračným odporom pôdy v hĺbkach od 0,05 až 0,45 m, zároveň obsah týchto zrnitostných frakcií pozitívne koreloval s aktuálnou vlhkosťou pôdy, pričom negatívna korelácia bola zaznamenaná medzi obsahom zrnitostnej frakcie F2 (0,25-0,05 mm) a aktuálnou vlhkosťou pôdy;

- obsah frakcie F4 a F5 v hĺbkach 0,05 až 0,15 m a 0,35 až 0,45 m signifikantne pozitívne koreloval s nameranou elektrickou vodivosťou pôdy v hĺbkach 0,30 a 0,90 m, pričom negatívna korelácia bola zaznamenaná medzi obsahom zrnitostnej frakcie F2 v hĺbkach 0,05 až 0,15 m a 0,35 až 0,45 m a elektrickou vodivosťou pôdy v oboch sledovaných hĺbkach;
- obsah organického uhlíka v pôde (v hĺbke 0,0 až 0,20 m) pozitívne koreloval s obsahom zrnitostných frakcií F4 a F5 (stanoveným v hĺbkach 0,05 až 0,15 m a 0,35 až 0,45 m).

### Porovnanie dosiahnutých úrod pšenice ozimnej v rokoch 2005 a 2006

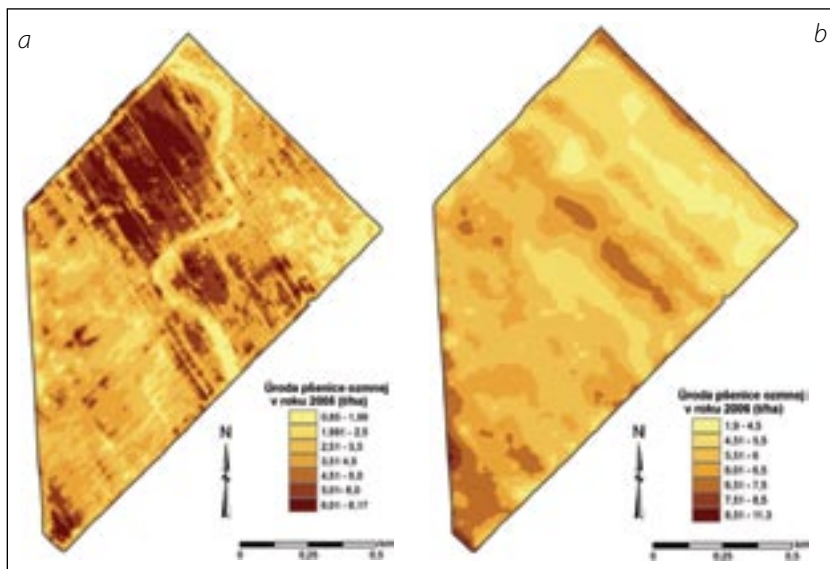
Detailná priestorová variabilita reálnej úrody pšenice ozimnej je reprezentovaná na obrázku 5. Z hľadiska dosiahnutej produkcie pšenice ozimnej na parcele Žihárec 0001/1 bol priaznivejší rok 2006, keď priemerná úroda dosiahla úroveň 5,71t/ha, kým v roku 2005 bolo zaznamenaných len 3,85 t/ha. Priestorová variabilita rozdielov (vyjadrených v t/ha a v %) dosiahnutých úrod v rokoch 2005 a 2006 je reprezentovaná na obrázku 6.



Obr. 5 Priestorová variabilita reálne dosiahnutej úrody pšenice ozimnej na parcele Žihárec 0001/1 v roku 2005 (5a) a v roku 2006 (5b)

Výsledky štatistických a geoštatistických analýz (rekonštrukcia vzťahov v systéme atmosféra – pôda – rastlina v rokoch 2005 a 2006) ukazujú, že vývoj biomasy a úroveň dosiahnutej úrody pšenice ozimnej na parcele Žihárec 0001/1 je do výraznej miery podmienený množstvom

atmosférických zrážok a ich rozdelením počas vegetačného obdobia. K ďalším environmentálnym (krajinným) charakteristikám, ktoré sa významnou mierou podieľajú na vývoji biomasy a tvorbe produkcie patrí charakter mikroreliefu (na záujmovej parcele dosahuje výškový rozdiel 7m), hĺbka hladiny podzemnej vody alebo prítomnosť vrstiev (lavíc) s rôznou mocnosťou, ktoré majú vyšší až vysoký podiel piesočnatých frakcií.



Obr. 6 Priestorová variabilita rozdielu medzi dosiahnutými úrodami na parcele Žihárec 0001/1 v rokoch 2005 a 2006 (vyjadrená v t/ha – 6a, vyjadrená v % – 6b)

V suchých podmienkach (rok 2005) pravdepodobne práve tieto vrstvy do značnej miery obmedzujú optimálnu zabezpečenosť vlhových nárokov pestovanej plodiny, či už prostredníctvom nedostatočného kapilárneho vztlínania z hladiny podzemnej vody alebo nedostatočnou kapacitou pre zadržiavanie zrážkovej vody. Týmto spôsobom sa práve v suchých rokoch prejavuje výrazná detailná variabilita porastov poľnohospodárskych plodín ako v priebehu vegetácie, tak aj pri zbere (priestorová variabilita dosiahnutej úrody), zatiaľ čo vo vlhkých ročníkoch nie je do takej miery výrazná.

## ZÁVER

Výsledky štatistických a geostatistických analýz realizovaných na nameraných a vyhodnotených údajoch zo záujmovej parcely Žihárec 0001/1 preukázali existenciu detailnej (vnútrohovej) priestorovej (vertikálnej aj horizontálnej) variability sledovaných pôdnych parametrov a vybraných environmentálnych charakteristík, ako aj priestorovú variabilitu reálne dosiahnutých úrod pšenice ozimnej.



Výsledky experimentu zároveň poukázali na výrazný vplyv ročníka (predovšetkým množstva zrážok a ich distribúcie počas vegetácie) na charakter a intenzitu vzájomných vzťahov v systéme atmosféra – pôda – rastlina (reprezentovaného parcelou Žihárec 0001/1 v rokoch 2005 a 2006), a tým aj na charakter (mieru) prejavu detailnej priestorovej variability dosiahnutej úrody pšenice ozimnej. Zároveň bol potvrdený aj význam vplyvu mikroreliefu, hĺbky hladiny podzemnej vody a zrnitosti pôdy.

Výsledky experimentu tiež preverili možnosť „zmonitorovania“ a popisu priestorovej variability úrody pšenice ozimnej do značnej miery prostredníctvom prešetrenej variability ostatných pôdnych a iných environmentálnych charakteristík. Zároveň však poukázali na potrebu ďalšieho štúdia venovaného tejto problematike.

## LITERATÚRA

- JONHSTON, K., HOEF, J. M. V., KRIVORUCHKO, LUCAS N. 2001. *Using ArcGISTM Geostatistical Analyst*. ESRI Press, Redlands, California, USA, 300 pp.
- STATSOFT, INC. (2001). *STATISTICA (data analysis software system), version 6*. www.statsoft.com.
- SCHOLTZ, P., NOVÁKOVÁ, M., HALÁS, J., SVIČEK, M. 2006. *Soil Science and Conservation Research Institute (SSCRI) activities in the field of precision farming*. In BUJNOVSKÝ, R., TEKELOVÁ, Z. (eds.) *Proceedings of Soil Science and Conservation Research Institute No. 28*. Bratislava: SSCRI, 71-80.
- SCHOLTZ, P., NOVÁKOVÁ, M., HALÁS, J., SVIČEK, M. 2007. *Soil Science and Conservation Research Institute (SSCRI) activities in the field of precision farming in condition of Slovak Republic*. In FOUNTAS, S., AGGELLOPOULOU, A., GEMTOS, F., BLACKMORE, S. (eds.) *Poster Paper Proceedings of the 6th Conference of Precision farming – ECPA, Greece, CD*.
- SVIČEK, M., NOVÁKOVÁ, M. 2006. *Detail geoinformation as a basis for successful application of precision farming methods and techniques*. In NOZDROVICKÝ, L. *Rozpracovanie systému presného hospodárenia na pôde v podmienkach Slovenskej republiky*. Zborník SAPV 51, Nitra 6.06.2006, Nitra: SAPV, s. 36-41.
-

# EKONOMICKÉ ASPEKTY ZÁVLAHY A HNOJENIA V PRODUKČNÝCH OVOCNÝCH SADOCH SO ZRETEĽOM NA OCHRANU PODZEMNÝCH VÔD

## ECONOMIC ASPECTS IN IRRIGATION AND FERTILISATION OF PRODUCTIVE ORCHARDS WITH REGARD TO UNDERGROUND WATER PROTECTION

**Ľubomír HANISKO, Ján HRÍBK**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava*

### ABSTRACT

Irrigation and fertigation are included to important factors within the system of apple and pear cultivation in progressive managed orchards. Relatively very economical and appropriate system is growing trees by slim spindle. Some winter varieties of pear-trees (Bohemica, Lucasova) and summer variety Williamsova were planted in the west part of Danubian lowland and the fruit assessment was carried out in 2004–2006 seasons. Because of evaluation of irrigation effect one control, not irrigated variation has been included in the trial - plot with three others (e.g. treatments) which have got various levels manuring. For the investigation this subject (or better synergetic effect which influence the economical aspects of growing pears) of irrigation and fertigation the assessments of quantity, quality of fruits, net profit according to higher amounts of yields (e.g. pears), but also chemical analysis of lysimetric soil water were evaluated.

**KEYWORDS:** pear-tree, irrigation, fertigation, fertilisation costs, profitability, economic efficiency

### ABSTRAKT

Závlaha a hnojivá závlaha (fertigácia) patria k významným faktorom pri pestovaní jadrového ovocia v produkčných ovocných výsadbách. Relatívne ekonomickým a výhodným systémom je pestovanie ovocných druhov v tvare štíhleho vretena. Niektoré zimné odrody hrušiek (Bohemica, Lucasova) a letná odroda Williamsova boli vysadené v západnej časti Podunajskej nížiny a hodnotenie plodov a celkovej úrody prebiehalo v rokoch 2004/2005–2005/2006. S ohľadom na vyhodnotenie vplyvu závlahy bol v hodnotenom poraste zahrnutý nezavlažovaný variant s tromi ďalšími, ktoré boli hnojené rôznymi dávkami živín. Kvôli výskumnému záme-

---

ru (synergický vplyv závlahy a výživy, ktorý ovplyvňuje ekonomické aspekty pestovania hrušiek a jadrového ovocia) sme hodnotili: kvantitu, kvalitu úrody, ekonomickú efektivitu pestovania hrušiek a chemickú analýzu lyzimetrickej vody z pôdy.

**KĽUČOVÉ SLOVÁ:** hruška domáca, závlaha, fertigácia, náklady na hnojenie, rentabilita, ekonomická efektívnosť

## ÚVOD

Na tvorbu vysokej produkcie kvalitného jadrového ovocia je v našom klimatickom pásme nevyhnutná závlaha. Problematika výživy ovocných stromov, najmä v závlahových podmienkach, nie je rozpracovaná na požadovanej úrovni. Správnou prepojenosťou oboch intenzifikačných činiteľov, resp. ich účelnou aplikáciou je možné dosiahnuť vysoké a ekonomicky zaujímavé úrody štandardnej kvality a s dobrou skladovateľnosťou, so zreteľom na ochranu životného prostredia a podzemných vôd. Autori PACHOLAK, CWCYNAR, SUTERSKI (1995) udávajú, že kvapková závlaha je 2-3x ekonomickejšia v porovnaní s mikropostrekom. Aj pri budovaní zahustených a produkčných ovocných sádov je nevyhnutným faktorom, determinujúcim výšku produkcie, závlaha. Podľa viacerých vedeckých a praktických poznatkov sa ako najvhodnejšia javí kvapková závlaha (GURČÍK, 2002), ktorá má niekoľko výhod

- pracuje ako stabilná závlaha, čím sú eliminované náklady na prenos konvenčných závlahových systémov, úspora pracovných síl, hospodárnejšie využívanie závlahovej vody,
- zavlažovaných je zhruba 40 % pôdy, t.j. priestor medzi riadkami zostáva nezavlažovaný, čo znamená úsporu energie, ako aj nákladov na ošetrovanie proti burinám; suchý priestor medzi radmi umožňuje vstup mechanizácie do porastu,
- výrazne sa zvyšuje kvalita a množstvo produkcie,
- eliminácia vodnej erózie,
- možnosť aplikácie minerálnej výživy prostredníctvom závlahového systému.

Tento druh závlahy má však aj niektoré nevýhody, napr.: požiadavka čistej závlahovej vody do takej miery, aby nedochádzalo k nežiaducemu zníženiu jej prietoku a skutočnosť, že rozvody vody môžu byť prekážkou pri kultivačných prácach.

Ekonomickými expertmi sú pre pestovanie odporúčané zimné odrody jadrového ovocia, napr. jabloní: Florina, Angold, Gala, Fuji, Jonagold, Rubinola (GURČÍK, 2002).

V posledných desaťročiach sa využíva voda ako nosné médium živín (princíp fertigácie, t.j. hnojivej závlahy). Je veľmi dôležité zdôrazniť nutnosť lepšieho využívania zdrojov vody z celosvetového pohľadu. Potreba živín sa môže vypočítať zo zloženia rastlín. Vypočítané množstvo musí byť korigované rozdielnosťou pôdných a klimatických podmienok, fixáciou a mobilitou živín a ich antagonizmom (PAOLI, 1997).

Významným poznatkom pestovateľskej praxe je, že dávky hnojív v rozsahu 300-400 kg.ha<sup>-1</sup> (v čistých živinách) v stredne ťažkých a ťažkých pôdach nezvyšujú hodnotu osmotického potenciálu natolko, aby sa prejavil depresívny účinok na úrody (BÍZIK, 1970; FECENKO, LOŽEK, 2000).

Nakoľko sa v súvislosti s prognózovanými klimatickými zmenami stále viac zdôrazňuje racionalizácia spotreby vody pre závlahu, s ohľadom na predpokladanú redukciu vodných zdrojov je jednou z možností riešenia týchto problémov optimálna kombinácia závlahy a hnojenia s využitím ich pozitívneho synergického (súčinnostného) efektu. Tento sa môže prejavíť v znížení spotreby vody na jednotku produkcie.

Aj keď Slovensko patrí medzi štáty s dostatočnými vodnými zdrojmi pre zavlažovanie, globálne trendy vývoja zachytávajúce európsky región bude nutné akceptovať aj v našich podmienkach. Predovšetkým pôjde o úspory v oblasti spotreby závlahovej vody. Ide nielen o ekonomickú záležitosť nadväzujúcu na rastúce ceny energií, ale aj o faktor ochrany vodných zdrojov, určených pre závlahu (HRIBIK, 2004).

Podľa autora PORHAJAŠ (2002) spotreba ovocia na Slovensku dosahuje 51,5 % (t.j. 62-67 kg) spotreby EÚ (112,8 kg), pričom odporúčaná spotreba je 98,5 kg. Hektárové úrody jabĺk v zahustených výsadbách dosahujú 20-25 t.ha<sup>-1</sup> a pri tvare štíhleho vretena 35 t.ha<sup>-1</sup> a viac. Náklady sa pohybujú od 118 do 147 tisíc Sk na hektár pri zahustených výsadbách a pri štíhlych vretenách asi 200 tisíc Sk na hektár. Autor konštatuje, že komparáciou s normatívnymi nákladmi vypracovanými vo Výskumnom ústave ekonomiky poľnohospodárstva a potravinárstva v Bratislave zistili, že pri výrobe jabĺk v produkčných sadoch sú priemerné vlastné náklady 5 595 Sk na tonu ovocia, pritom v dvoch hodnotených rokoch: 1999 a 2000 boli náklady vyššie v porovnaní s normatívnym nákladom o 305 až 705 Sk.t<sup>-1</sup>. Z ekonomickej analýzy vyplynulo, že pestovatelia ovocia by mali klásť dôraz na znižovanie režijných nákladov. Pri hodnotení produkčnej schopnosti jednotlivých druhov ovocia autori zaznamenali v sledovanom období 1995-2000 nasledovné úrody ovocia v prepočte na hektár: jablk 20-35 t.ha<sup>-1</sup> a hrušiek od 1,4 do 3,3 t.ha<sup>-1</sup>. Rozpätie úrod pri jednotlivých druhoch ovocia bolo spôsobené nepriaznivými klimatickými podmienkami, napr. nedostatkom zrážok, ktoré možno zmierniť využívaním ekonomicky efektívnej kvapkovej závlahy zabezpečujúcej maximálne úrody. Hodnotením ekonomickej efektívnosti jednotlivých druhov ovocia v produkčných sadoch bolo zistené, že pestovanie jadrového ovocia je veľmi ziskové, pričom sa zisk z jedného hektára pohybuje od 75 do 120 tis. Sk, a to v závislosti na zvolenom systéme pestovania. V produkčných sadoch je žiaduce zvyšovať efektívnosť výroby ovocia prostredníctvom

- zvyšovania produkcie ovocia z jednotky plochy,
- zvyšovania kvality produkcie,
- znižovania nákladov na hektár,
- zvyšovania intenzifikačných faktorov,
- budovania efektívnych závlahových systémov,
- používania kvalitného genetického materiálu,
- používania vhodných ekologických odrôd,
- budovaním klimatizovaných skladov na skladovanie ovocia.

Pri dodržaní pestovateľských zásad je možné efektívne vyrábať hlavné druhy ovocia (PORHAJAŠ, 2002).

## MATERIÁL A METÓDY

Výskum danej problematiky sa uskutočnil v rokoch 2004-2006 v sade hrušiek s výmerou 0,25 ha a s rozmermi 35x50 m, v lokalite Most pri Bratislave. Sad bol založený na jeseň v roku 2000 v kukuričnej výrobnnej oblasti, s nadmorskou výškou 133 m. Z klimatického hľadiska ide o oblasť teplú a suchú s prevládajúcimi miernymi zimami. Dlhodobý ročný priemer zrážok (1951-1990) je 550 mm, za zimné obdobie (október až marec) 250 mm. Priemerná denná teplota vzduchu za rok je 9,7 °C a za vegetačné obdobie (apríl až september) 16,2 °C. Prevládajúci smer vetra je severozápadný. Rady stromov sú vysadené v smere sever – juh, v spone 3,5x1,5 m (odrody Bohemica, Lucasova a Williamsova). Pôdnym typom je karbonátová černoziem. Pôdotvorným substrátom sú piesočnaté až hlinité karbonátové náplavy, ktoré prechádzajú v hĺbke 1,10-1,35 m do pieskov a v hĺbke 1,35-1,60 m do štrku. Pôda sa vyznačuje dobrými fyzikálnymi vlastnosťami.

Predmetom výskumu boli 3 odrody hrušiek na podpníkoch MA – dula angerská: Bohemica, Williamsova; na hruške planej – Lucasova (dosadená v roku 2002).

Bezvírový materiál bol dodaný firmou Fructop Ostratice s. r. o., obchodne certifikovaný.

Na prihnojovanie formou fertigácie bol použitý prihnojovač DOSATRON francúzskej výroby (max. 2,3 l.hod<sup>-1</sup>, pracovný tlak 30-600 kPa).

V každom roku boli hodnotené nasledovné faktory v jednotlivých variantoch závlahy a výživy:

- vlahový režim – pod závlahou a bez závlahy,
- hnojenie – hnojivá závlaha a aplikácia tuhých hnojív.

Použili sme rozpustné hnojivo (Potassium nitrate – Dusičnan draselný) aplikované so závlahovou vodou v dávkach 60 kg N, 44 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> (**variant A**), rozpustné hnojivo (Dusičnan draselný) aplikované so závlahovou vodou v dávkach 80 kg N, 55 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> (**variant B**), tuhé hnojivo (superfosfát trojitý, LAV) s hnojivou závlahou v dávkach 60 kg N, 44 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O.ha<sup>-1</sup> (**variant C**: kombinovaný spôsob hnojenia), kontrola bez závlahy (variant K) bola hnojená tuhým hnojivom v dávkach ako variant C.

Hnojenie rozpustnými hnojivami (*Potassium nitrate*) sa uskutočnilo delenými dávkami v týchto fenofázach:

- priebehu kvitnutia (apríl – máj),
- v období tvorby plodov (koniec mája – začiatok júna),
- v období intenzívneho rastu plodov (koniec júna – začiatok júla),
- v období pred dozretím plodov (koniec júla – august).

Relatívne vysoká dávka hnojenia dusíkom (80 kg.ha<sup>-1</sup>) bola stanovená s ohľadom na zistenie a preukázanie intenzity jej povzbudzujúceho vplyvu na rast, úrodu a kvalitu plodov hrušiek.

Zavlažovalo sa kvapkovou závlahou NETAFIM s integrovanými kvapkovačmi, vzdialenými od seba 1 m, s prietokom 2,3 l.hod<sup>-1</sup>. Každá odroda mala 4 varianty, z toho 3 zavlažované (A, B, C – rôzna výživa a rôzne spôsoby hnojenia) a nezavlažovanú kontrolu (K).

Pri variantoch so závlahou sa zavlažovalo podľa konkrétnych fenofáz hrušiek – kvitnutie, intenzívny rast plodov, obdobie dozrievania plodov; na zodpovedajúcej úrovni 70 % využiteľnej vodnej kapacity (VVK), 65 % VVK a 60 – 70 % VVK (v danom poradí fenofáz).

Pôdna vlhkosť sa merala meračmi zn. VIRIB zo združenia AMET Velké Bílovice, (Česká republika), určenými na stacionárne meranie objemovej vlhkosti pôdy. Snímače boli rozmiestnené po 2 ks, v 2 hĺbkach (0,2 a 0,4 m) vo všetkých hodnotených variantoch. Snímače udávajú hodnoty pôdnej vlhkosti v objemových percentách.

Robila sa ručná prebierka plodov (v zavlažovaných variantoch plody vzdialené na 0,10 m a v nezavlažovaných variantoch na 0,15 m), podľa autorov HRIČOVSKÝ ET AL. (1996), HRIČOVSKÝ ET AL. (2003), aby boli umožnené podmienky pre rast a vývin štandardných plodov.

Za účelom posúdenia úrovne závlahy a dávkovania dusíka (fertigácie) boli v roku 2004 v pôdnom profile v hĺbke 0,6 m umiestnené ploché lyzimetre (BIZIK, ZÁPOTOČNÝ, 2002), ktoré umožnili zachytávať pôdny roztok a vysávať ho z potrebnej hĺbky. Boli vyrobené z dosiek PVC s rozmermi 0,4 m x 0,4 m.

Hnojivú závlahu sme vyhodnotili bilančnou metódou so zameraním na ekonomickú efektivitu pestovania hrušiek. Z ekonomických ukazovateľov sa sledovali parametre súvisiace s kalkuláciou vlastných nákladov. V zmysle zákona č. 563/91 Zb. O účtovníctve (§ 25 ods. 4 pís. d) sa pod vlastnými nákladmi pri zásobách vytvorených vlastnou činnosťou rozumejú priame náklady vynaložené na výrobu alebo inú činnosť, prípadne aj časť nepriamych nákladov, ktorá sa vzťahuje na výrobu alebo na inú činnosť.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vplyvom hnojivej závlahy bol zvýšený podiel plodov výberu a 1. akosti v roku 2005 priemerne o 28 %. Rozdiely úrod medzi nezavlažovaným (kontrolným) variantom a zavlažovanými variantmi v pokusnej výsadbe hrušiek boli 6 t.ha<sup>-1</sup>, ktoré v cenovom vyjadrení predstavujú 30 tisíc Sk.ha<sup>-1</sup> pri realizačných cenách za 1kg hrušiek 22,00-25,00 Sk (Bohemica 25,00 Sk, Williamssova 22,00 Sk). Ceny boli zisťované podľa podkladov z Agrárnych trhových informácií Slovenska pri VÚEPP, Bratislava.

V roku 2005 sa dosiahol zisk zo zvýšených úrod hrušiek vo fertigačných variantoch a podľa jednotlivých odrôd v našom pokuse nasledovne:

Bohemica 30 000 Sk, v prepočte na 1 ha 66 600,- Sk,

Williamssova 24 640 Sk, v prepočte na 1 ha 54 701,- Sk.

Dosiahnuté úrody hrušiek za roky 2005 – 2006 boli vyššie v porovnaní s nezavlažovanou kontrolou, a to vo fertigačných variantoch (**A, B**) pri odrode Bohemica priemerne za rok o 33,0 %, pri odrode Williamssova o 26,5 %, čo predstavuje pri odrodách:

Bohemica viac o 0,92 t.ha<sup>-1</sup>, Williamssova o 1,15 t.ha<sup>-1</sup>.

Vo variante s minerálnymi hnojivami a kombinovaným hnojením (**variant C**) bolo zvýšenie úrod v roku 2005 pri odrode Bohemica o 55,7 %, čo je viac o 1,37 t.ha<sup>-1</sup>, Williamssova o 45,0 %, čo je viac o 1,35 t.ha<sup>-1</sup>.

Rozdiely úrod hrušiek pestovaných v podmienkach hnojivej závlahy a kombinovaným hnojením v roku 2006 boli nasledovné:

Bohemica: 3,5 %; t.j. 0,13 t.ha<sup>-1</sup>, Williamsova: 5,4 %; t.j. 0,31 t.ha<sup>-1</sup>.

Náklady na hnojenie

a) *Fertigačný variant B* (dávka 80 kg N.ha<sup>-1</sup> a rok), spotrebovali sa nasledovné množstvá hnojív: Dusičnan draselný (pre zabezpečenie celkového množstva 80 kg N.ha<sup>-1</sup>) 584 kg.ha<sup>-1</sup> á 21,80 Sk. Celkové náklady na hnojivo boli 15 275,50 Sk.ha<sup>-1</sup> a rok.

*Fertigačný variant A* (dávka 60 kg N.ha<sup>-1</sup> a rok) spotrebovali sa nasledovné množstvá hnojív: Dusičnan draselný (pre zabezpečenie celkového množstva 60 kg N.ha<sup>-1</sup>) 438 kg.ha<sup>-1</sup> hnojiva á 21,80 Sk. Celkové náklady na hnojivo boli 11 457,00 Sk.ha<sup>-1</sup> a rok.

b) *Variant s kombinovaným hnojením (variant C)*, pri ktorom bol aplikovaný liadok amónny s vápencom - LAV (27,5 %), draselná soľ (60 %), superfosfát (19 %) v množstvách LAV 150 kg á 5,45 Sk = 1015 Sk.ha<sup>-1</sup>; draselná soľ 115 kg á 7,50 Sk = 1077 Sk.ha<sup>-1</sup>; superfosfát 232 kg á 5,55 Sk = 1290 Sk.ha<sup>-1</sup>.

**Spolu: 3382 Sk.ha<sup>-1</sup> a rok.**

Pri aplikácii močoviny (46% N) ako zdroja N je možné znížiť náklady na hnojivá. Ak jej dodáme 150 a 200 kg.ha<sup>-1</sup> rok, čo zodpovedá 70 a 92 kg N.rok<sup>-1</sup>, pri daných cenových reláciách vychádzajú náklady na tieto hnojivá na hektár: 1147,50 Sk, resp. 1530 Sk, (HANISKO, 2003).

Hlavné ukazovatele ekonomicky efektívneho pestovania vybraných odrôd hrušiek podľa našich poznatkov a spracovaných podkladov sú nasledovné: z pomeru výnosu k vynaloženým prostriedkom na hnojenie vychádza najrentabilnejšie pestovanie hrušiek odrody Bohemica a najmenej rentabilné pestovanie pri odrode Williamsova. V roku 2006 opäť vychádzala najvyššia rentabilita pestovania pri zimnej odrode Bohemica. Tento ekonomický výstup je zaujímavý s ohľadom na skutočnosť, že v prvom hodnotenom roku (2004) výška úrod sledovaných odrôd hrušiek nebola ovplyvnená aplikáciou hnojivej závlahy Dusičnanom draselným v predchádzajúcom roku v priebehu vegetácie a faktom, že úroda sa tvorí práve v predchádzajúcom roku. Pomerne slabá rentabilnosť pestovania hrušiek letnej odrody Williamsova môže byť ešte znížená dobou skladovania, zvlášť po poveternostne veľmi teplých ročníkoch, akým bol rok 2005. Naopak, pri odrode Bohemica je predpoklad uchovania výborných kvalít plodov aj po uskladnení, a tým zhodnotenie výnosov a zvýšenie ekonomických ukazovateľov pestovania tejto odrody, ktorá je vhodná taktiež pre stredné polohy.

Prehľad zvýšených úrod v podmienkach hnojivej závlahy v porovnaní s nezavlažovaným, a teda kontrolným variantom pri každej pestovanej odrode hrušiek, spolu s vyčíslenými nákladmi na hnojenie podľa jednotlivých pestovateľských variantov závlahy a výživy podáva Tab. 1.

### **Hodnotenie pohybu pôdneho roztoku a dusičnanov pomocou plochých lyzimetrov v roku 2005**

Za účelom posúdenia úrovne závlahy a dávkovania dusíka boli inštalované ploché lyzimetre, ktoré umožňovali zachytávať pôdny roztok. Výsledky sa získali v roku 2005 (Tab. 2), pričom lyzimetre boli umiestnené pri odrode Bohemica. Aj keď hladina podzemnej vody v našej lokalite je dostatočne hlboko, až 8 m, a pritom priesaky pôdneho roztoku do hĺbok nižších

**Tab. 1.** *Prehľad zvýšených úrod v jednotlivých pestovateľských variantoch závlahy a výživy hodnotených odrôd v porovnaní s kontrolným variantom, spolu s nákladmi na hnojenie*

**Table 1.** *The summary of increased yields according to separate treatments of irrigation and nourishment cultivation in comparison with control treatment and with manuring costs by observed varieties*

Odroda/variant (1)	Zvýšenie úrod v % (t.ha <sup>-1</sup> ) (2) rok (3)						Náklady na hnojenie v Sk.ha <sup>-1</sup> (4) rok (3)		
	2004 (t.ha <sup>-1</sup> )	2005 (t.ha <sup>-1</sup> )	2006 (t.ha <sup>-1</sup> )	2004 (%)	2005 (%)	2006 (%)	2004	2005	2006
Bohemica var. A	0	0	3,5	0	0	13,8	21 071	21 071	21 071
Bohemica var. B	1,2	3	3,5	3,1	14,7	13,8	27 920	27 920	27 920
Bohemica var. C	2,6	0	0	7,0	0	0	3 382	3 382	3 382
Bohemica var. K	36,7	20,6	25,3	kontrola	kontrola	kontrola	3 382	3 382	3 382
Lucasova var. A	0	0	3	0	0	5,3	21 071	21 071	21 071
Lucasova var. B	0	0	9,5	0	0	71,1	27 920	27 920	27 920
Lucasova var. C	0	0	0,7	0	0	5,3	3 382	3 382	3 382
Lucasova var.K	0	0	13,3	kontrola	kontrola	kontrola	3 382	3 382	3 382
Williamsova var. A	3,5	4,3	0	11,8	29,8	0	21 071	21 071	21 071
Williams. var. B	9,9	6,5	12,7	33,1	44,7	35,5	27 920	27 920	27 920
Williams. var. C	8,3	0	11,8	27,7	0	33,1	3 382	3 382	3 382
Williams. var. K	29,9	14,5	36,1	kontrola	kontrola	kontrola	3 382	3 382	3 382

(1) variety/treatment, (2) increased yields, (3) year of cultivation, (4) manuring costs

ako 0,6 m nemožno považovať za nebezpečné z hľadiska ochrany podzemných vôd, cieľom racionálnej závlahy a výživy je, aby priesaky pod 0,6 m vrstvu pôdy neboli vysoké. Zistená koncentrácia NO<sub>3</sub><sup>-</sup> v mg.l<sup>-1</sup> vody (do 50 mg.l<sup>-1</sup>) zodpovedá kritériám pre pitnú vodu (STN 75 7111 „Pitná voda“). V prípade variantu s vyššou dávkou N (80 kg N.ha<sup>-1</sup>) nebol zistený vyšší obsah dusičnanov v pôdnom roztoku. Priemerné hodnoty nameraných koncentrácií obsahu dusičnanov v lyzimetrickej vode podľa variantných odberov sú veľmi blízke, a to aj vo variante A s nižšou dávkou N v priemere 41 mg.l<sup>-1</sup> dusičnanov v porovnaní s hodnotou 38 mg.l<sup>-1</sup> dusičnanov vo variante B (s dávkou 80 kg.ha<sup>-1</sup> N). Koncentrácia dusičnanov v pôdnom roztoku sa v priebehu vegetácie výrazne mení. Z počiatočných vyšších hodnôt poklesol ich obsah, čo súvisí s príjmom N. Zrejme sa viac uplatňuje uvoľňovanie N z pôdnej zásoby.

### **Porovnanie získaných poznatkov s výsledkami českých odborníkov na hnojivú závlahu hrušiek z ekonomického aspektu**

Významnú štúdiu o prínose fertigácie hrušiek pre stabilizáciu úrod a kvalitu produkcie zverejnili autori PRAŽÁK, LITSCHMANN (2007). Fertigácia hrušiek odrody Lucasova na MA prebiehala v rokoch 2003 – 2006 v poloprevádzkovom pokuse v ZD Dolany. Boli hodnotené 4 pokusné varianty – nezavlažovaná kontrola a kvapková závlaha s kvapkovačmi s výkonom 1,6; 2,3 a 3,5 l.hod<sup>-1</sup> v 4 opakovaníach. Závlaha prebiehala v automatickom režime s riadením pomo-



**Tab. 2.** Obsah dusičnanov v lyzimetrickej vode vysávanej z lyzimetra v pokuse hrušiek v 2 variantoch (r. 2005)**Table 2.** Content of nitrates in soil lysimeter water pumped from flat lysimeter within the experimental plot of pear-trees and with 2 varieties (2005)

Odroda (1)	Variant (2)	Dátum odberu (3)	Množstvo roztoku (ml) (4)	Obsah dusičnanov (mg.l <sup>-1</sup> ) (5)	Merná vodivosť EK (mS.m <sup>-1</sup> ) (6)	Závlahová dávka (mm) (7)
Bohemica	A	11.6.	850,0	58,6	82,0	18,5
Bohemica	A	4.7.	750,0	50,1	105,0	23,0
Bohemica	A	9.7.	820,0	41,3	105,0	11,0
Bohemica	A	22.8.	650,0	13,3	52,0	0,0
Priemer (8)				40,8		
Bohemica	B	11.6.	870,0	66,0	42,0	18,5
Bohemica	B	4.7.	780,0	33,4	91,0	23,0
Bohemica	B	9.7.	800,0	20,4	99,0	11,0
Bohemica	B	19.7.	420,0	41,1	99,0	23,0
Bohemica	B	8.8.	320,0	24,9	90,0	0,0
Bohemica	B	22.8.	150,0	40,7	102,0	0,0
Priemer (8)				37,8		

(1) variety, (2) treatment, (3) date of analysis, (4) amount of solution, (5) content of nitrates, (6) specific conductivity, (7) dose of watering, (8) average

cou regulátora pôdnej vlhkosti so snímačom Virrib. Prostredníctvom kvapkovej závlahy bolo dodávané špeciálne hnojivo Kristalon v koncentrácii 3,5 g.l<sup>-1</sup> závlahovej vody. Výsledky úrod ukázali najvyššie hodnoty pri maximálnej dodávke vody (var. D : 3,5 l.hod<sup>-1</sup>). Toto zvýšenie úrod predstavovalo 28,4 kg.strom<sup>-1</sup>; v porovnaní s kontrolou (22,3 kg.strom<sup>-1</sup>) zase predstavovalo 6,1 kg.strom<sup>-1</sup>, tj. 27,4 %. Súčasne so zvýšením úrod došlo aj ku zvýšeniu hmotnosti 100 plodov (PRAŽÁK, LITSCHMANN, 2007). Podľa autora PRAŽÁK (2006) výsledky pokusu s kvapkovou závlahou hrušiek a zistené hodnoty v jednotlivých variantoch (80 stromov vo variante) poukazujú na rast úrod. Najvyššie úrody boli dosiahnuté pri najväčšej dodávke vody. S vyššou dodávkou vody boli dosahované vyššie úrody s výnimkou roku 2005. Hodnotenie v nasledujúcich rokoch preukáže ďalší trend vývoja úrod podľa variantov. Rovnako hmotnosť 100 plodov za obdobie 2004 – 2005 preukazuje vzostupný trend pri zvýšenej dodávke vody – kontrola = 33,0 kg, variant 1,6 l/h = 34,6 kg, variant 2,3 l/h = 35,2 kg, variant 3,5 l/h = 38,0 kg. Výsledky preukazujú dosiahnutie najvyšších úrod 28,8 kg/strom (tj. 28,8 t/ha) pri najvyššej dodávke vody. V porovnaní s nezavlažovanou kontrolou bola úroda vyššia o 4,3 kg/strom (+17,5 %). Rovnako vyššie úrody než pri kontrole boli dosiahnuté vo variante 1,6 l/h (+ 11,8 %) a vo variante 2,3 l/h (+ 11,8 %) a vo variante 2,3 l/h (+ 9,4 %). Prihnojovanie prebiehalo od prvej dekády júna do polovice augusta (približne raz týždenne) fialovým Kristalomom v koncentrácii 3,5 g/strom. Kontrola obsahu živín bola robená odberom listov hrušiek v septembri na chemickú analýzu obsahu makro- a mikroelementov. Rozbory preukázali dostatočné zásobenie živín s miernym deficitom niektorých mikroprvkov (Cu, Mn, Zn) v porovnaní s optimom (PRAŽÁK, 2006).

Pri aplikácii hnojiva Kristalon kvapkovou závlahou v pokusoch realizovaných Výskumným a šľachtiteľským ústavom ovocinárskym v Holovousoch, ČR, predstavovalo zvýšenie úrod 24 % a výrazný vplyv mala táto kombinácia na veľkosť plodov (o 15 %) v porovnaní s kontrolným variantom (PRAŽÁK, PROSA, CIMPA, 2002).

Množstvo a koncentrácia dodávaných hnojív pri fertigačnom spôsobe hnojenia závisí na veku a vývojovej fáze stromu. Používajú sa menšie dávky hnojív. Tieto odporúčania, ktoré predkladá BLAŽEK (2001), sme u nás využili s ohľadom na fyzikálne a chemické charakteristiky karbonátových černoziem v Podunajskej nížine. Ďalší autori (SABOLČÁK, JANSTA, LITSCHMANN, 2000) udávajú čistý zisk pri výsadbe štíhlych vretien jabloní bez závlahy za 15 rokov 1 068 tisíc Kč, so závlahou za rovnaké obdobie 2 219 tisíc Kč, teda o 107 % viac. Vyzdvihujú fakt, že je potrebné vziať do úvahy stabilitu úrod, ktorú pestovanie jabloní s kvapkovou závlahou podporuje. Uvádzajú, že efekt závlahy v druhom roku po výsadbe nie je zreteľný a výraznejšie sa začína prejavovať od tretieho roku.

## ZÁVER

Riešenie danej problematiky prebiehalo v lokalite Most pri Bratislave v rokoch 2004 až 2006, na pokusných pozemkoch š. p. Hydromeliorácie. Boli hodnotené tri odrody hrušiek pestované v tvare štíhleho vretena a aplikované tri varianty hnojenia a závlahy. Ďalší, kontrolný variant bol hnojený tuhými formami hnojív a zároveň nezavlažovaný.

Pri všetkých pozorovaných odrodách (Bohemica, Lucasova, Williamsova) sa prejavil priaznivý vplyv fertigačie na zvyšovanie úrody plodov v štyroch variantoch a podľa jednotlivých odrôd, od 15 do 30 % v porovnaní s nezavlažovanou kontrolou, hnojenou tuhými formami hnojív.

Zo zvýšených úrod hrušiek vplyvom tekutého spôsobu zavlažovania vybraných odrôd a z kalkulácie nákladov na hnojenie v jednotlivých pestovateľských variantoch sme zistili, že pri pestovaní konkrétnych odrôd v podmienkach fertigačnej závlahy možno dosiahnuť ekonomicky zaujímavé úrody.

Ekonomický prínos predstavoval vplyvom hnojivej závlahy v porovnaní s nezavlažovanou kontrolou

– vo variante s dávkou dusíka  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  pri odrode Bohemica – 13 050 Sk. $\cdot \text{ha}^{-1}$ , pri odrode Lucasova – 16 160 Sk a pri odrode Williamsova – 29 250 Sk,

– vo variante s dávkou dusíka  $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  pri odrode Bohemica – 28 950 Sk; Lucasova – 87 040 Sk; Williamsova – 108 900 Sk,

– vo variante s tuhými formami hnojív pri odrode Bohemica – 9 750 Sk; Lucasova – 21 600 Sk; Williamsova – 75 300 Sk.

Bolo overené, že z hľadiska ochrany životného prostredia, podzemných vôd a lepšieho využitia vody a dusíka je vhodné sledovanie postupných priesakov pôdneho roztoku pod kvapkovačom a kontrola jeho pohybu pomocou plochých lyzimetrov, umiestnených v hĺbke 0,6 m pôdneho profilu. Rozbory potvrdili, že obsah dusičnanov v pôdnom roztoku aj pri vyšších dávkach N je v povolených množstvách. Táto metóda je perspektívna v ovocných sadoch.

## Podakovanie

Táto práca bola podporená Projektom Agentúry na podporu vedy a techniky APVT – 99 – 033204

## LITERATÚRA

- BÍZIK, J. *A study of changes in the osmotic pressure of the soil solution as a result of the influence of heavy doses of fertilizers*. In Acta fytotechn., Univ. Agricult., vol. 19, 1970, s.149–160.
- BÍZIK, J., ZÁPOTOČNÝ, V. *Význam diagnostiky obsahu dusíka v pôde pre výživu rastlín*. In Naše pole, roč. 6, 2002, č. 2, s. 8-9.
- BLAŽEK, J. 2001. *Pěstujeme jabloně*. Praha: Nakl. Brázda. 256 s. ISBN 80-209-0294-5.
- FECENKO, J., LOŽEK, O. 2000. *Výživa a hnojenie poľných plodín*. Nitra: SPU. 442 s. ISBN 80-7137-777-5.
- GURČÍK, L. *Metodické aspekty ekonomického hodnotenia investícií na založenie jabľonového sadu (Methodological aspects of economic evaluation of investment on planting of apple orchard)*. In Ekonomika poľnohospodárstva, roč. 2, 2002, č. 3, s. 61-66.
- HANISKO, L. 2003. *Interakčný efekt závlahy a hnojenia na jablone v tvare štíhle vreteno*. Doktorandská dizertačná práca I,II. Bratislava: SVP š.p., OZ Hydromeliorácie. 164 s., 48 tab., 241 grafov, Prílohy I-IV.
- HRÍBIK, J. *Perspektívy aplikácie kvapkovej závlahy v našich pestovateľských podmienkach*. In Naše pole, roč. 8, 2004, č. 5, s. 32-33.
- HRIČOVSKÝ, I., ČERNUŠKO, K., LOŽEK, O., PAULEN, O., PRASLIČKA, J. 1996. *Ekologické pestovanie jabloní a hrušiek*. Poradca. Nitra: Agroinštitút, 58 s.
- HRIČOVSKÝ, I., ŘEZNÍČEK, V., SUS, J. 2003. *Jablone, hrušky, dule, mišpule*. Bratislava: Príroda. 104 s.
- PACHOLAK, E., CWYNAR, m., SUTERSKI, L., 1995. *Nawozenie a nawadnianie a wzrost i plonowanie jabloni po replantacji*. In Akademia z Zakresu Nauk Rolniczych, 79, s.195-202.
- PAOLI, N. 1997. *What does fertigation have to offer?* In Obstbau-Weinbau, 34, 1, s. 10-13.
- PORHAJAŠ, V. *Ekonomika výroby ovocia (Economics of fruit production)*. In Ekonomika poľnohospodárstva, Roč. 2, 2002, č. 3, s. 37-40.
- PRAŽÁK, M. *Kapková hnojivá závlaha hrušní*. In Zahradnictví, 5/2006, s.15.
- PRAŽÁK, M., LITSCHMANN, T. *Přínos fertigace hrušní pro výnosovou stabilizaci a kvalitu produkce*. In Vedecké práce ovocinářské, VŠUO Holovousy s.r.o., 20/2007, s. 109-114. ISBN 978-80-87030-01-1.
- PRAŽÁK, M., PROSA, S., CIMPA, L. *Kapková závlaha a přihnojování jabloní*. In Agro, vol. 7, 2002, č.6, s. 37-38, 4 tab.
- SABOLČÁK, A., JANSTA, Z., LITSCHMANN, T. *Ekonomický přínos kapkové závlahy jabloní v podmínkách jižní Moravy*. In Informace pro zahradnictví, 2000, č. 10, s. 6–7, 10.

# PRIESTOROVÉ INFORMÁCIE A VYUŽITIE SLUŽBY SKPOS PRE POĽNOHOSPODÁRSKE A PÔDOZNALECKÉ APLIKÁCIE

## SPATIAL INFORMATION AND APPLICATION OF SKPOS SERVICE IN THE FIELD OF AGRICULTURAL AND SOILSCIENCE USE

**Vladimír HUTÁR, Peter SCHOLTZ, Ľubica HAMLÍKOVÁ**

*Soil Science and Conservation Research Institute*

*E-mail: hutar@vupu.sk, scholtz@vupu.sk, hamlikova@vupu.sk*

### ABSTRACT

The requirements for accuracy of spatial information depend on selected method of survey. Today's demands for collection of spatial information in agriculture and soil resort are gradually increasing. This trend is connected mainly with development of recent technologies based on detection of selected property through the special sensor. The new service SKPOS (Slovak permanent service for the exploitation of global navigation satellite systems) should increase efficiency and facilitate this uneasy demands. Slovak service SKPOS merge all two satellite systems GPS (USA) and GLONASS (Russia) into one global satellite service GNSS.

**KEYWORDS:** GNSS, GPS, pedometrics, precision farming, SKPOS, spatial information

### ABSTRAKT

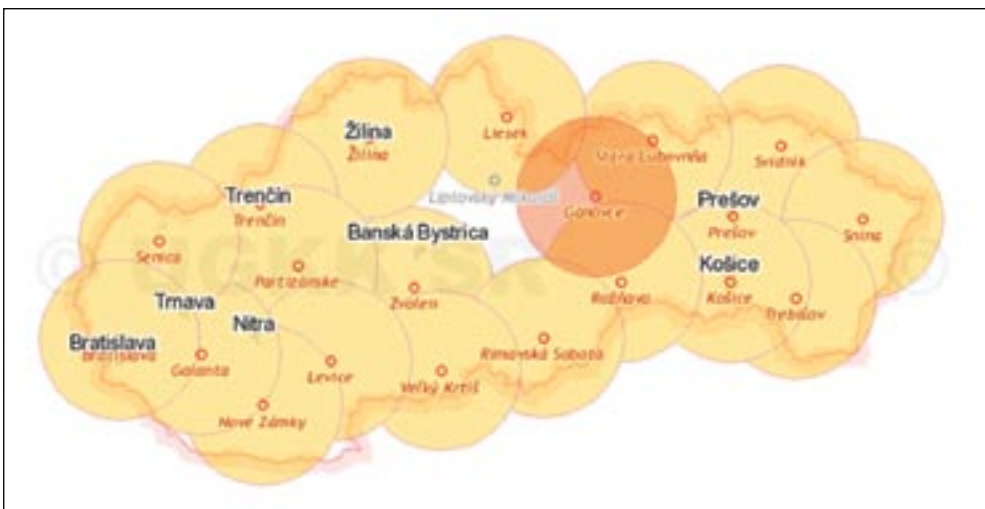
Požiadavky na presnosť priestorových informácií závisia od zvolenej metódy prieskumu. Pre potreby zberu priestorových informácií v poľnohospodárskej a pôdoznaleckej oblasti sú kladené čoraz väčšie nároky. Tento trend súvisí predovšetkým s rozvojom súčasných technológií detekcie sledovaných vlastností prostredníctvom špeciálnych senzorov. Zefektívniť a uľahčiť túto úlohu by mala nová služba SKPOS (Slovenská priestorová observačná služba na využívanie signálov globálnych navigačných systémov) využívajúca distribúciu signálov obidvoch dostupných systémov GPS (USA) a GLONASS (Rusko) spojených v jednej službe GNSS.

**KĽÚČOVÉ SLOVÁ:** GNSS, GPS, pedometrika, precízne poľnohospodárstvo, SKPOS, priestorové informácie

---

## ÚVOD

Permanentné siete GNSS (globálny navigačný satelitný systém) / GPS (globálny polohový systém) tvoria prijímače permanentne monitorujúce všetky dostupné družice systému. Takéto siete sú zoskupené v sieťach rozličných hierarchií – od celosvetových, cez kontinentálne až po siete jednotlivých štátov alebo regiónov (HEFTY, HUSÁR 2003). Slovenský priestorový observačný systém SKPOS predstavuje takúto permanentnú sieť na národnej úrovni. Infraštruktúra SKPOS je súhrn legislatívnych, legislatívno-organizačných, organizačných, organizačno-technických, technických, hardvérových a softvérových rámcov na príjem, uchovávanie spracovávanie a distribúciu informácií, údajov, produktov a služieb (KLOBUŠIAK, LEITMANOVÁ, FERIANC 2005).



Obr. 1. Pokrytie územia SR referenčnými stanicami permanentne observujúce signály GNSS

Geodetický a kartografický ústav Bratislava (GKU) a Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy (VUPOP) uzavreli dňa 23.11.2006 dohodu o poskytovaní práv na využívanie služieb SKPOS. V nej sa GKU ako správca a prevádzkovateľ SKPOS zaväzuje poskytovať počas testovacej prevádzky nepretržite nasledujúce služby v záväznom geocentrickom systéme ETRS89 v stanovených presnostiach pre: reálny čas A. SKPOS-dm – korekcie kódových meraní s využitím pre určovanie polohy v reálnom čase s presnosťou 1 m – 0,4 m B. SKPOS-cm – plošné korekcie fázových meraní na presné určovanie polohy v reálnom čase s presnosťou lepšou ako 2cm postreálny čas C. SKPOS-mm kódové a fázové merania z referenčných staníc na presné určenie polohy po ukončení merania s presnosťou 20-0,5 mm.

Uvedené služby umožňujú širokú škálu aplikácií pre poľnohospodárske a pôdoznalecké aplikácie. Pre potreby ortorektifikácie (diferenciálneho prekreslenia obrazu) satelitných obrazových záznamov s vysokým rozlíšením (VHR) sa využívajú postupy s najvyššími presnosťami (postreálny čas). Pre lokalizáciu bodových údajov (popisovaných, meraných) spolu s tvorbou

lineárnych prvkov pre presné určovanie polohy v reálnom čase s nižšou presnosťou je možné využiť plošné korekcie fázových meraní.

## MATERIÁL A METÓDY

Služba postreálny čas SKPOS-mm bola využitá na generovanie virtuálnych RINEX údajových súborov pre súradnicami definovanú virtuálnu referenčnú stanicu, požadovaný deň, časový interval od-do s časovou frekvenciou záznamu na <http://www.skpos.gku.sk>. Voľba súradníc podliehala nasledovnej požiadavke: obsiahnuť pokiaľ možno čo najviac meraných bodov v okolí virtuálnej referenčnej stanice do 3km. Pre observácie bol čas na meraných bodoch vzdialených do 3km od generovanej virtuálnej stanice nastavený na 15 min., pre každý jeden km navyše bolo pripočítaných 5 min. pozorovania. Na merania boli použité prístroje Leica GS 20, jednofrekvenčné 12 kanálové GPS prijímače pre kódové aj fázové merania.

Spracovanie údajov prebiehalo v prostredí softvéru Leica GeoOffice (LGO) 5.0. Výsledky meraní v riešení typu phase (diferenciálne fázové merania s riešením anbiguít) a float (diferenciálne fázové merania pred riešením anbiguít) boli transformované pomocou regionálneho (na úrovni okresu) alebo lokálneho transformačného kľúča do súradnicového systému JTSK, čím sa výsledná stanovená presnosť degraduje o nasledovné hodnoty: 15cm pre okresný transformačný kľúč, 5 cm pre lokálny transformačný kľúč. Za zmienku ešte stojí, že samotné projekčné zobrazenie JTSK je deformované, čo by malo vyriešiť nové zobrazenie JTSK/03 založené na nových poznatkoch transformácií. Ako miera presnosti bola stanovená miera rozptylu hodnôt  $RMSE_{xy}$  z jednotlivých meraní na jednotlivých lokalitách (1) spolu s hodnotami odchylok  $dx$  (2):

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i dx_i^2} \quad RMSE_{xy} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i dy_i^2} \quad (1)$$

$$dxy = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (2)$$

Využitie služby reálny čas SKPOS-dm sa predpokladá ako náhrada za rovnakú službu poskytovanú komerčným poskytovateľom, pričom sa predpokladá vyššia spoľahlivosť vzhľadom na lepšie pokrytie referenčnými stanicami. Pre využitie tejto služby sa používajú rovnaké zariadenia Leica GS20, s nutným dovybavením vo forme modemu a vhodným zariadením pre sledovanie charakteristickej pôdnej vlastnosti so špeciálnym senzorom, napr. Geonics EM38 pre nedeštrukčné meranie pôdnej vodivosti (Scholtz, Nováková, Halás, Sviček 2006). Uvedená dosahovaná (submetrová) presnosť je dostačujúca pre kinematické merania parciel (HUTÁR, SVIČEK, SCHOLTZ, 2003) pre požadované technické tolerancie.



Obr. 2. Ukážka meraní bodových a líniových prvkov

```

2.11 OBSERVATION DATA H (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
GPSTime 2.51 2637 Virtual Rinx Gen. 07-Dec-06 13:34:54 PCH / RUN BY / DATE
Virtual_20 MARKER NAME
SKPOS GKO BRATISLAVA HAV 3.20 MARKER NUMBER
01271 TRIMBLE NETRS OBSERVER / AGENCY
0 REC # / TYPE / VERS
37192 TRM55971.00 NONE RCU CLOCK OFFS APPL
4073436.6409 1258559.1659 4728158.9165 ANT # / TYPE
0.0000 0.0000 0.0000 APPROX POSITION XYZ
1 1 0 ANTENNA: DELTA H/E/N
6 C1 P1 P2 C2 L1 L2 WAVELENGTH FACT L1/2
1.000 # / TYPES OF OBSERV
2006 12 7 12 0 0.0000000 GPS INTERVAL
Unknown TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
06 12 7 12 0 0.0000000 0 13G25R23G30G10G05R07G06G31G07G24R08G21
C16
22224023.561 22224018.975 -19603153.10905
-15137179.58500
20215319.076 20215318.397 20215318.596 -20730547.13806
-16213275.99900
21981731.687 21981728.656 -17979203.58805
-13242550.84800
23319998.992 23319994.777 -10601709.20005
-7376958.75507
25003892.800 25003891.081 -3271277.11005
-1308194.11707
22332453.690 22332453.127 22332452.845 -11669153.78305
-9130976.86600
20422128.522 20422124.596 -25689152.64705

```

Obr. 3. Ukážka hlavičky generovanej RINEX observačnej správy (\*.06o) spolu s parametrami údajov pozorovaných satelitov prostredníctvom služby SKPOS

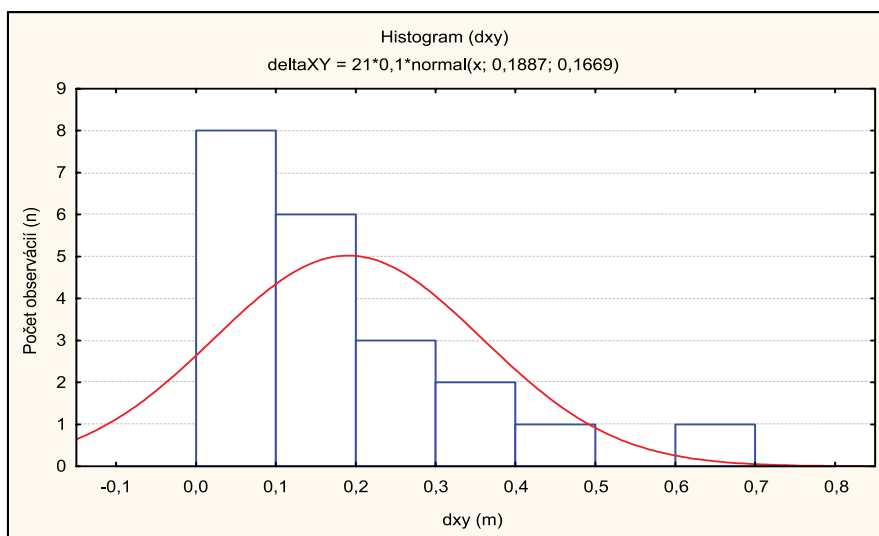
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Dosiahnuté výsledky meraní na kontrolných geodetických bodoch boli porovnávané s referenčnými hodnotami poskytnutými z GKU, pričom išlo v prvom rade o geodetické body ŠPS (Štátna priestorová sieť) a trigonometrické body. Výsledky meraní prináša nasledovná tabuľka č.1:

**Tab. 1.** Ukážka GNSS/GPS meraní na geodetických bodoch s využitím služby SK-POS (Leica GS20, fázové merania z referenčných staníc na presné určenie polohy po ukončení merania s presnosťou 20-0,5mm)

ID_pres	Y	X	Yref	Xref
5005-9	-250 654,38	-1 193 015,33	250 654,41	1 193 015,34
6231-1	-248 149,30	-1 200 439,81	248 149,25	1 200 439,83
JN-742	-265 377,61	-1 208 534,67	265 377,60	1 208 534,66
KO-520	-256 676,71	-1 204 527,35	256 676,72	1 204 527,36
KO-550	-246 657,88	-1 204 887,75	246 657,88	1 204 887,75
01-530	-263 373,67	-1 197 560,45	263 373,67	1 197 560,47

	priem.dxy	RMSEy	RMSEx	RMSExy
ID_pres	0,022	0,024	0,014	0,028
ID_kosi	0,217	0,302	0,103	0,319
ID_duse	0,257	0,201	0,212	0,292
ID_vekr	0,103	0,098	0,067	0,118

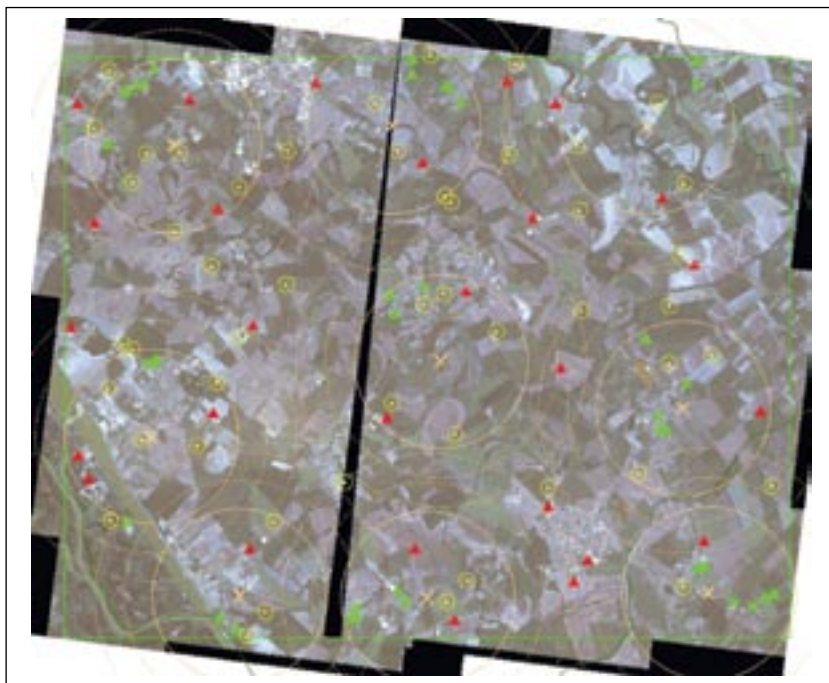


Graf 1. Histogram (rozdelenie početností) meraných odchýlok (dxy) referenčných bodoch s využitím služby SK-POS (Leica GS20, fázové merania z referenčných staníc na presné určenie polohy po ukončení merania s presnosťou 20-0,5mm)



Namerané odchýlky (dXY) na referenčných bodoch sa pohybovali od 0,03m do 0,68m, pričom priemerná hodnota všetkých meraných záznamov predstavuje o,19m.

Európska komisia (European Commission, 2005a) definuje geometrickú presnosť diferenciálne prekresleného satelitného obrazového záznamu na základe hodnôt strednej kvadratickej chyby (RMSE) na kontrolných bodoch. Pre satelitné obrazové záznamy s veľmi vysokým rozlíšením získané satelitmi IKONOS2 a QUICKBIRD2 je maximálna povolená RMSE v smere osi X a rovnako v smere osi Y 2,5 m. RMSE odchýliek na vlícovacích bodoch musí byť menšia ako 0,5 násobok maximálnej povolenej RMSE na kontrolných bodoch. Nami dosiahnuté hodnoty RMSExy spĺňajú uvedené kritériá.



Obr.4.: Rozloženie virtuálnych staníc na snímke DPZ pre zachytenie meraných vlícovacích (GCP), kontrolných (ICP) a geodetických kontrolných bodov (geodet) s rozstupmi časových observácií (kružníc) pre 15min (3km), 20min (4km) a 25min (5km) observácie

Ako vidieť z uvedených výsledkov, dosahovaná presnosť korešponduje s deklarovanou hodnotou, pričom treba mať na zreteli, že porovnávané hodnoty sa odlišujú v závažných geodetických systémoch. Stanovená presnosť sa degraduje predovšetkým použitím transformácie. Ostatné faktory majúce vplyv na dosiahnutie požadovanej presnosti sú čas observácie, hodnoty PDOP (hladina zníženej dostupnosti – dilution of precision) ktorá nemá presahovať hodnotu 6, počet satelitov ktorý nemá klesať pod hodnotu 6 a výsledky fázových meraní s riešením ambiguit.

## ZÁVER

Možnosti poskytované GKU prostredníctvom služby SKPOS predstavujú širokú škálu využitia v poľnohospodárskej a pôdoznaleckej oblasti. Uvedená služba napomáha zefektívniť a uľahčiť náročné úlohy spojené so spoločnou poľnohospodárskou politikou (SPP) Európskej únie formou kontroly dotácií metódami diaľkového prieskumu Zeme a kontroly na mieste. V pôdoznaleckej oblasti je využitie danej služby na navigáciu a lokalizáciu pôdných sond, tvorbu georeferencovaných údajov z nedeštrukčných metód pôdneho prieskumu založených na využití špeciálnych senzorov.

## LITERATÚRA

- European Commission. 2005a. *Common Technical Specifications for the 2006 campaign of Remote Sensing Control of area-based subsidies*. 41 pp.
- HEFTY, J., HUSÁR, L. 2003. *Družicová geodézia*. Vysokoškolské skriptá. Bratislava: STU, 186 s.
- HUTÁR, V., SVIČEK, M., SCHOLTZ, P. 2003. *Parcelné merania v Slovenskej republike podľa kritérií Európskej únie (Integrovaný administratívny a kontrolný systém, časť parcelné merania a tolerancie)*. In *Kartografické listy* 11, s. 24-29
- KLOBUŠIAK, M., LEITMANNOVÁ, K., FERIANC, D. 2005. *Využitie SKPOS na geodetické činnosti*. In 13. slovenské geodetické dni. Bratislava: KGK, 1-14
- SCHOLTZ, P., NOVÁKOVÁ, M., HALÁS, J., SVIČEK, M. 2006. *Soil Science and Conservation Research Institute (SSCRI) activities in the field of precision farming*. In BUJNOVSKÝ, R., TEKEĽOVÁ, Z. (eds.) *Proceedings of Soil Science and Conservation Research Institute No. 28*. Bratislava: SSCRI, p. 71-80  
<http://www.skpos.gku.sk>
-

# AKTUÁLNY OBSAH FLUÓRU V PÔDACH OKOLIA HLINIKÁRNE V ŽIARI NAD HRONOM

## ACTUAL STATE OF FLUORINE IN THE SOILS OF ALUMINIUM PLANT SURROUNDINGS IN ŽIAR NAD HRONOM

**Jozef KOBZA**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava, regionálne pracovisko Banská Bystrica,  
e-mail: kobza.vupop@bystrica.sk*

### ABSTRACT

Actual content of watersoluble fluorine and its development in the soils of Aluminium plant surroundings in Žiar nad Hronom is described in this contribution. Evaluation of soil contamination by fluorine is coming out from hygienic soil survey in 2006 year. Watersoluble fluorine in soil has been measured by the help of ionselective electrode (FIALA ET AL., 1999). Fluorine has been analysed in topsoil (0-10 cm) and in subsoil (35-45 cm), as well. On the basis of obtained results it was found out that total 624 ha of agricultural soils are contaminated by fluorine at present unlike the emission situation is sufficient already. In this continuity also the content of fluorine in soil is slightly decreasing (about 3-4 % yearly). In relation to this fact, especially in the most polluted area (where measured values of watersoluble fluorine are often 5-times over valid hygienic limit) on the basis of present F development in soil it could be presupposed a natural length of remediation for about 25-30 years.

**KEYWORDS:** soil contamination, fluorine, Žiarska Kotlina (basin)

### ABSTRAKT

Príspevok sa zaoberá aktuálnym obsahom, ako aj vývojom vodorozpustnej formy fluóru v pôdach okolia hlinikárne v Žiari nad Hronom. Jeho hodnotenie vychádza z najnovšieho usku- točneného hygienického prieskumu pôd v roku 2006. Bola stanovená vodorozpustná forma fluóru v pôde pomocou iónoselektívnej elektródy (FIALA A KOL., 1999). Analýzy fluóru v pôde boli robené v ornici a v podornici. Na základe dosiahnutých výsledkov bolo zistené, že celkovo 624 ha poľnohospodárskej pôdy je v súčasnosti nadlimitne kontaminovaných fluórom, a to i napriek tomu, že emisná situácia v danej oblasti je už vyhovujúca. Do určitej miery tomu zod- povedá aj skutočnosť, že jeho obsah v pôde sa mierne znižuje (asi 3-4 % ročne), čo však ešte i pri súčasnom často 5-násobnom prekročení hygienického limitu možno pri súčasnom trende predpokladať prirodzenú dĺžku ozdravenia pôd na asi 25-30 rokov.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** kontaminácia pôd, fluór, Žiarska kotlina

---

## ÚVOD

I keď kontaminácia pôd fluórom má v rámci Slovenska len regionálny význam, v oblasti hlinikárne Žiar nad Hronom ide o vypuklý a dlhotrvajúci problém. Pôda má na rozdiel od iných zložiek životného prostredia (voda, ovzdušie) špecifický význam, pretože okrem úrodnosti má pre nás aj veľmi významnú schopnosť viazať na seba, rozkladať, a tým zneškodňovať aj vysoké koncentrácie rizikových prvkov. Táto významná hygienická schopnosť pôdy má však tiež svoje hranice a pri silnej a dlhodobej emisnej záťaži, ako tomu bolo doteraz aj v oblasti vplyvov žiarskej hlinikárne, pôda už nemôže mať takú hygienickú schopnosť, ako by to bolo žiadúce. Je známe, že zahájením novej prevádzky hlinikárne pokleslo množstvo emisií v porovnaní so starým závozom o 80 až 95 % a dá sa povedať, že v súčasnosti už dosiahlo takmer neškodnú mieru. Tento veľmi pozitívny vplyv na životné prostredie sa takmer okamžite prejavil na kvalite ovzdušia, ale ostatné zložky životného prostredia, najmä však pôda, budú niesť znaky doterajšej a dlhodobej záťaže ešte dlhé obdobie, čo v rámci potravinového reťazca sa môže prejavovať aj na zdravotnom stave obyvateľstva.



Obr. 1 Okolie hlinikárne v Žiari nad Hronom

Fig. 1 Aluminium plants surroundings in Žiar nad Hronom

## MATERIÁL A METÓDY

V rámci postupnej identifikácie zatažených území Slovenska, bol v roku 2006 uskutočnený hygienický prieskum (aktuálny rozsah znečistenia, v tomto prípade fluórom) v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom. Pri výbere lokalít bol zohľadnený ekologický princíp, t.j., prevládajúce

pôdne predstaviteľ, smer prevládajúcich vetrov, expozícia k svetovým stranám, erodované i akumulčné časti reliéfu. Súčasne boli využité aj pôdne monitorovacie lokality. Boli odobrané pôdne vzorky z 26 lokalít, z dvoch hĺbok, a to z ornice (0-10 cm) a z podornice (35-45 cm). V pôdnych vzorkách bol stanovený vodorozpustný fluór pomocou fluoridovej iónselektívnej elektródy (Fiala a kol., 1999). Namerané údaje boli štatisticky vyhodnotené a na základe podkladových pedologických i reliéfových máp bola vypracovaná mapa kontaminácie pôd vodorozpustným fluórom v okolí hlinikárne v Žiari nad Hronom. Súčasne bol graficky vyhodnotený trend vývoja kontaminácie pôd fluórom v najzaťaženej oblasti (Horné Opatovce) pozostávajúci z výsledkov každoročného sledovania v rámci tzv. kľúčových lokalít monitoringu pôd Slovenska.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Získané výsledky pochádzajú z 26-tich lokalít (ornica a podornica) a ich základné štatistické charakteristiky sú uvedené v tab. 1:

**Tab. 1** Obsah vodorozpustného fluóru v pôdach okolia hlinikárne v Žiari nad Hronom

**Tab. 1** Content of watersoluble fluorine in soils in the Aluminium plant surroundings

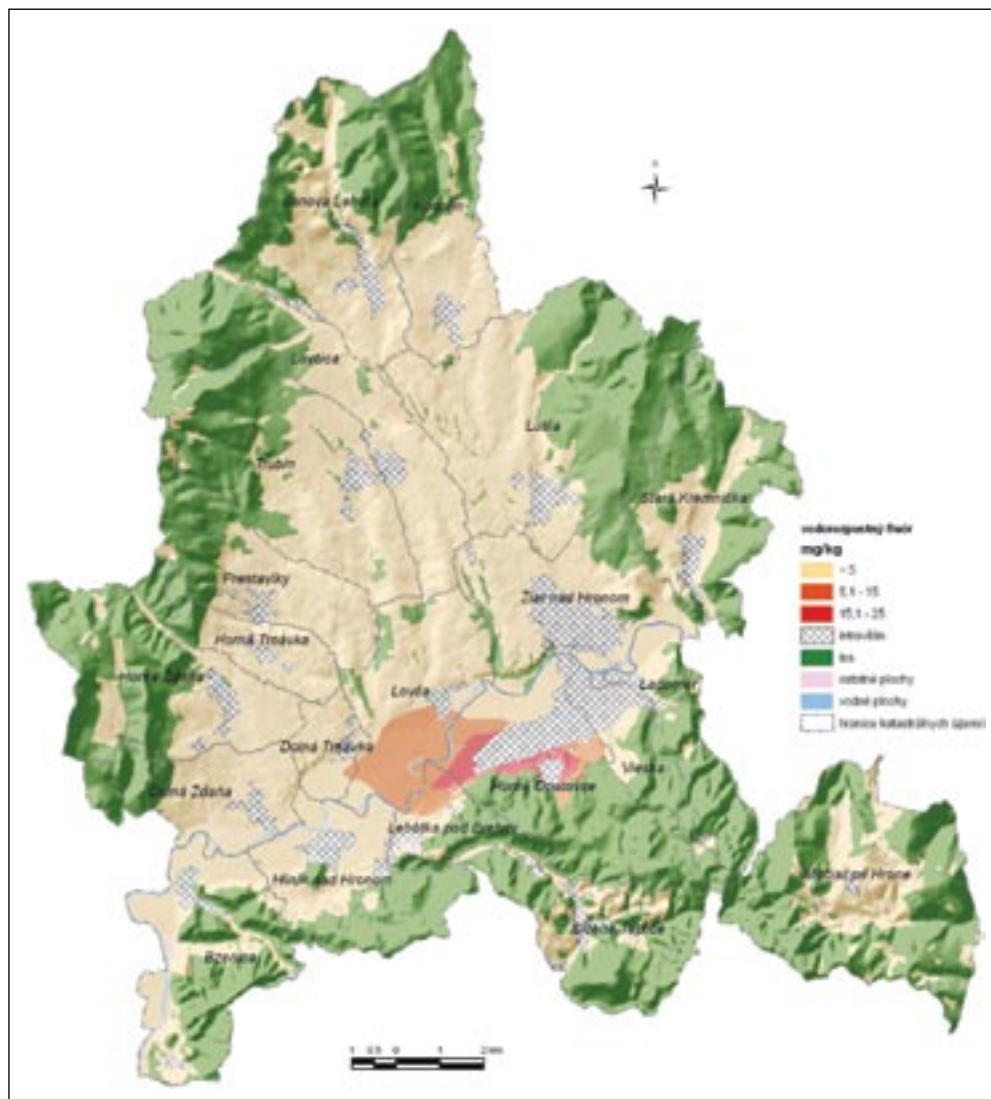
P. č.	Hĺbka v cm	Základné štatistické ukazovatele n = 26				
		Xmin.	Xmax.	R	X	V
1	0 - 10	0,05	24,31	24,26	4,54	1,25
2	35 - 45	0,05	26,19	26,14	5,27	1,56

Xmin. – minimálna hodnota, Xmax. – maximálna hodnota, R – variačné rozpätie, X – aritmetický priemer, v – variačný koeficient, n – početnosť súboru

Obsah vodorozpustného fluóru v pôdach okolia hlinikárne je značne variabilný, o čom svedčí výrazné variačné rozpätie ( $R = 24,26$ ), ako aj variačný koeficient (1,25).

Priemerná hodnota vodorozpustného fluóru v ornici je pomerne vysoká a blíži sa k hodnote platného hygienického limitu, ktorý je 5 mg Fvod.kg-1 (Zákon č. 220/2004 Z.z. – Annex 2, ex. MP SR, 2004). Pomerne vysoká priemerná hodnota vodorozpustného fluóru je ovplyvnená vysokými hodnotami v blízkosti hlinikárne (najvyššie nameraná hodnota dosahuje 24,31 mg.kg-1 na luvizemi pseudoglejovej oproti hlinikárni). Pokiaľ tieto pôdy boli v minulosti výrazne ovplyvňované F-emisiami, výsledným prejavom je vysoká koncentrácia emitovaného prvku (prvkov) práve v ich povrchovej časti, čo je spôsobené výraznou textúrnou diferenciáciou pôdneho profilu.

V podornici bola zistená ešte výraznejšia variabilita ( $R = 26,14$ ,  $v = 1,56$ ) oproti ornici, kde má určitý homogenizačný efekt práve pravidelné premiešavanie ornice orbou, a tým dochádza k zriedovaniu koncentrácie fluórom.

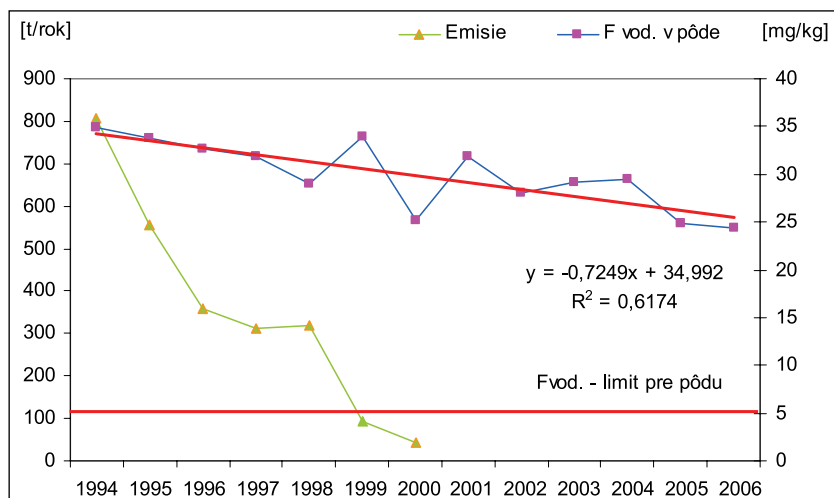


Mapa 1 Aktuálny stav kontaminácie pôd vodorozpuštným fluórom v okolí hlinikárne  
 Map 1 Actual state of soil contamination by watersoluble fluorine in the Aluminium plant surroundings

Na základe mapového znázornenia vidieť, že najviac zaťažené územie pôd fluórom sa rozprestiera v blízkosti hlinikárne, a to najmä v oblasti Horných Opatoviec, siahajúce po Lovči a Dolnú Trnávku až takmer po Lehôtku pod Brehmi. Väčšie plošné zastúpenie pripadá na kategóriu 5,1-15 mg Fvod.kg<sup>-1</sup>, ktoré predstavuje výmeru 496 ha. Výrazné znečistenie pôd vodorozpuštným fluórom predstavuje kategória 15,1-25 mg Fvod.kg<sup>-1</sup>, ktorá predstavuje výmeru 128 ha. Jedná sa predovšetkým o oblasť Horných Opatoviec a nivu Hrona v blízkosti červeno-hnedých odpadov.

Na základe najnovšieho hygienického prieskumu pôd z roku 2006 môžeme teda prehlásiť,

že celkovo 624 ha poľnohospodárskej pôdy je nadlimitne aktuálne kontaminovaných fluórom. I keď rozsah znečistenia je o niečo nižší ako uvádza Linkeš (1997) z prieskumu pred 10-timi rokmi, prirodzené znižovanie koncentrácie fluóru v najviac kontaminovanej zóne je len veľmi pozvoľné. Dokumentuje to aj zistený najnovší trend vodorozpustného fluóru v najviac kontaminovanej zóne na luvizemi pseudoglejovej (LMg) oproti hlinikárni.



Obr. 2 Vývoj obsahu Fvod. v pôde (LMg) a v emisiách v najviac kontaminovanej zóne

Fig. 2 Development of watersoluble fluorine in soil and emissions in the most polluted zone

Na základe uvedeného grafu vidieť, že kým obsah F-emisií sa výrazne znížil a po roku 2000 je už v podstate v norme, obsah fluóru v pôde (v najviac kontaminovanej zóne) je stále výrazne nadlimitný (takmer 5-násobok hygienického limitu) a prirodzené znižovanie tohto prvku je len veľmi pozvoľné, čo síce dokumentuje eliminovanie zdroja kontaminácie novšími technológiami po roku 1990, na druhej strane podľa vypočítaného modelu pri predpoklade tohto trendu i v budúcnosti, je potrebné počítať minimálne s obdobím 25-30 rokov, kým sa hodnota vodorozpustného fluóru v najviac kontaminovanej zóne dostane na hranicu hygienického limitu, čo je pomerne dlhé obdobie. Určité možnosti zlepšenia nepriaznivej hygienickej situácie časti pôd v súvislosti s fluórom v oveľa kratšom časovom horizonte sme už naznačili v predchádzajúcej práci (KOBZA A MAKOVNÍKOVÁ, 1998).

## ZÁVER

Na základe posledného a najnovšieho hygienického prieskumu poľnohospodárskych pôd okolia hlinikárne v Žiari nad Hronom sa ukázalo, že plocha kontaminovaných pôd fluórom sa mierne znižuje, podobne aj koncentrácia fluórom v pôde, čo potvrdzuje zlepšenú emisnú situáciu v danom regióne, na druhej strane však proces znižovania koncentrácie sledovaného

a hodnoteného prvku je veľmi pomalý. Je to zároveň dôkaz špecifického postavenia pôdy v životnom prostredí, pričom túto skutočnosť bude potrebné zohľadniť i v budúcnosti pri využívaní a ochrane hodnotených poľnohospodárskych pôd.

## LITERATÚRA

- FIALA, K. 1999. *Záväzné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – Pôda*. Bratislava: VÚPOP. 142 s. ISBN 80-85361-55-8.
- KOBZA, J., MAKOVNÍKOVÁ, J. 1998. *Watersoluble fluorine and its development features in the soils of Aluminium plant surroundings in Žiar nad Hronom*. In *Vedecké práce VÚPÚ Bratislava*, 21, s. 189-194.
- LINKEŠ, V. A kol. 1997. *Monitoring pôd Slovenskej republiky. Stav monitorovaných pôd za obdobie 1992-1996*. Bratislava: VÚPÚ. 128 s. ISBN 80-85361-35-3.
- MP SR. 2004. *Zákon č. 220/2004 Z. z. O ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy*. Príloha č. 2 Pod čiastkou 96 zo dňa 28. 4. 2004.
-



# VARIABILITA BÁZICKÝCH KATIÓNOV V KAMBIZEMIACH

## BASIC CATIONS VARIABILITY IN CAMBISOLS

**Jarmila MAKOVNÍKOVÁ**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Mládežnícka 36, 974 05 Banská Bystrica  
e-mail: makovnikova.vupop@isternet.sk*

### ABSTRACT

Basic cations in samples of selected cambisols groups of Partial Monitoring System – Soil were analysed ( $n=74$ ). The soil samples were collected from the depth 0 – 10 cm. Basic cations  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , pH value in  $CaCl_2$ , Corg and soil particle lower than 0.01 mm were determined (FIALA ET AL., 1999). The highest portion of  $Ca^{2+}$  of sum of basic cations were found (77 % in arable land and 84 % in grassland). Between arable land and grassland are considerable differences in  $Mg^{2+}$  portion (20 % in arable land and 12 % in grassland). The lowest sum of basic cations were found in Cambisols on acid substrates and lean clays, 2.5 times higher sum of basic cations were determined in Cambisols on carbonate substrates used as grassland. Relation between  $Ca^{2+} : Mg^{2+}$  move from 1,45 : 1 to 21,20 : 1 (average value 8,73:1) in Cambisols used as grassland and from 1,03 : 1 to 8,71 : 1 (average value 4,49:1) in Cambisols used as arable land. From the viewpoint of Spearman correlation analyses pH value was in relation with  $Ca^{2+}$  ( $r=0,60$ ) and with  $Mg^{2+}$  ( $r=0,38$ ), significant correlation were determined between soil particle lower than 0.01 and  $K^+$  content ( $r=0,60$ ) as well as between  $Mg^{2+}$  and  $Ca^{2+}$  ( $r=0,44$ ).

**KEYWORDS:** Cambisols, basic cations Ca, Mg, K, Na Partial Monitoring System – Soil

### ÚVOD

Sorpčná schopnosť pôdy ako aj zloženie výmenných katiónov v pôde sú výsledkom priebehu pôdotvorného procesu v kontexte s klimatickými podmienkami, antropogénne 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 (MAKOVNÍKOVÁ, BARANČIKOVÁ, 2003), keďže fyzikálno-chemické vlastnosti pôdy sú závislé na vlastnostiach pôdneho roztoku a pôdnych koloidov. V pôde je voda v styku s pôdnymi časticami, reaguje s nimi, dochádza k výmene iónov medzi povrchom pôdnych koloidov a pôdnym roztokom. Preto je veľmi dôležitou vlastnosťou iónov ich schopnosť vzájomne sa zamieňať, pričom adsorpcia a výmena iónov je rozdielna v prípade katiónov a aniónov. Adsorpcia a výmena katiónov majú praktický význam pri prijímaní živín rastlinami ako aj

pri aplikácii hnojív (Čurlík a kol., 2003). Medzi najvýznamnejšie výmenné katióny v pôde patria tzv. bážické katióny,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  a  $\text{Na}^+$  a kyslé katióny  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  (vrátane  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ). Adsorpčná schopnosť bážických katiónov klesá v rade  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$  a závisí od mocenstva katiónov, ich atómovej hmotnosti ako aj od hrúbky hydratačného obalu (HANES, POLÁČEK, 2002). Pôdy s prevahou výmenného  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$  majú optimálnu chemickú dynamiku a neutrálnu pôdnu reakciu, humusové látky sú nasýtené  $\text{Ca}^{2+}$  v dôsledku čoho sa vytvára drobnohrudkovitá štruktúra. Pôdy s vysokým obsahom výmenného  $\text{H}^+$  a  $\text{Al}^{3+}$  sú sorpčne nenasýtené s prevažne nenasýteným humusom, kyslou pôdnou reakciou a málo stabilnou štruktúrou (HANES, 1999).

Príspevok je zameraný na stanovenie bážických katiónov v kambizemiach, ktoré patria k najviac rozšíreným pôdam Slovenska (26,8 % poľnohospodársky využívaných pôd SR (BIELEK A KOL., 1998)) aj Európy. Vyvinuté sú na rôznych pôdotvorných substrátoch, a to od kyslých granitických hornín a kryštalinika, cez vulkanické horniny až po flyš (súvrstvia pieskocov a ílovcov), ako aj na karbonátových horninách (vápence a dolomity) (HANSEN A KOL., 2000). Kambizeme patria k pôdam so značne variabilnými pôdnymi vlastnosťami, sú využívané ako poľnohospodárske pôdy (orné pôdy i pôdy pod trvalými trávnyimi porastami) a tiež ako lesné pôdy.

## MATERIÁL A METÓDY

V pôdných vzorkách odobraných v 3. (rok 2002) odberovom cykle z monitorovacích lokalít Čiastkového monitorovacieho systému- pôda (ČMS-P) vo vybraných skupinách kambizemí z hĺbky 0 - 10 cm bola stanovená výmenná pôdna reakcia (pH v  $\text{CaCl}_2$ ), obsah organickej hmoty, zrnitosť a obsah jednotlivých výmenných bážických katiónov (FIALA A KOL., 1999).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Kvalitatívne a kvantitatívne zloženie výmenných katiónov v sorpčnom komplexe pôdy ovplyvňuje predovšetkým pufracnú funkciu pôdy, trofickú funkciu, štruktúru pôdy ako aj vodný a vzdušný režim pôdy (HANES, 1999, MAKOVNÍKOVÁ, KANIANSKA, 2000, MAKOVNÍKOVÁ, 2005).

Pri hodnotení bol súbor kambizemí rozčlenený do dvoch hlavných skupín podľa druhu pozemku: kambizeme využívané ako orné pôdy ( $n=42$ , OP) a kambizeme využívané ako trvalé trávne porasty ( $n=32$ , TTP) a do 8 podskupín v závislosti od substrátu na ktorom sa pôda vyvinula a druhu pozemku.

Zastúpenie jednotlivých bážických katiónov v sorpčnom komplexe celého súboru kambizemí vzhľadom na druh pozemku ako aj v jednotlivých skupinách je uvedené v tabuľke 1A, 2A, 2B a 2C.

V kambizemiach je najväčším podielom v rámci bážických katiónov zastúpený  $\text{Ca}^{2+}$  práve vďaka jeho vysokej adsorpčnej a nízkej desorpčnej schopnosti, v orných pôdach je to v priemere 77 % a v trvalých trávnych porastoch 84 %. Najnižšie zastúpenie majú jednomocné katió-

**Tab. 1** Popisná štatistika bázických katiónov ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) v kambizemiach (hĺbka 0-10 cm) - Mean, minimum, maximum values of exchangeable cations ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) in Cambisols (depth 0-10 cm)

štatistické charakteristiky	druh pozemku							
	OP				TTP			
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
x	0,12	0,31	10,17	2,52	0,13	0,29	11,90	1,82
min	0,01	0,06	2,09	0,70	0,01	0,02	1,56	0,18
max	0,30	1,50	17,80	4,54	0,64	1,29	29,08	6,76

ny, predovšetkým Na<sup>+</sup> a to 0,9 % v orných pôdach aj v trávnych porastoch. Výraznejšie rozdiely podľa druhu pozemku sú v zastúpení Mg<sup>2+</sup> (20 % OP a 12 % TTP). Väčší rozptyl v zastúpení Mg<sup>2+</sup> na TTP sa prejavil aj v širšom rozpätí pomeru Ca<sup>2+</sup> : Mg<sup>2+</sup>, ktorý sa v trávnych porastoch pohybuje od 1,45 : 1 až po 21,20 : 1 s priemernou hodnotou 8,73:1, v orných pôdach od 1,03 : 1 po 8,71 : 1 s priemernou hodnotou 4,49:1. Pomer katiónov Ca<sup>2+</sup> : Mg<sup>2+</sup> 4:1 až 6:1 uvádza ČURLÍK (2003) ako najpriaznivejší pre poľnohospodársky využívané pôdy. Celková suma dvojmocných bázických katiónov v pomere k sume jednomocných katiónov je 29,5:1 v OP a 32,6:1 v TTP.

Vplyv pôdotvorného substrátu ako aj druh pozemku (OP alebo TTP) sa výraznejšie prejavil v obsahu bázických katiónov v jednotlivých skupinách pôd. Celková suma bázických katiónov je najnižšia v kambizemiach vyvinutých na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach, 2,5-násobne vyššia je v skupine kambizemí na karbonátových substrátoch. Najvyšší priemerný obsah vápnika je v pôdach vyvinutých na karbonátových substrátoch, nižší obsah draslíka je v kambizemiach vyvinutých na vulkanitoch a nižší obsah horčíka v porovnaní s ostatnými skupinami pôd je v kambizemiach vyvinutých na flyši. Pomer Ca<sup>2+</sup> : Mg<sup>2+</sup> je najpriaznivejší v skupine kambizemí na kyslých substrátoch, OP s priemernou hodnotou 6,17:1, najnižší je v skupine kambizemí na vulkanitoch, OP 2,60 : 1 a najvyšší v skupine kambizemí vyvinutých na karbonátových horninách, OP 17,10 : 1.

V pôdach sa vyskytuje zmes katiónov a aniónov, ktoré sú charakteristické energiou sorpcie, koncentráciou a hlavne vzájomným vplyvom (HANES, POLÁČEK, 2002). Bázické katióny je preto potrebné hodnotiť nielen v celkových ale aj v relatívnych, pomerných koncentráciách v akých sa v pôde nachádzajú (tab. 2C). Najnižšie agrotechnické vstupy do pôdy predpokladáme na pôdach využívaných ako trvalé trávne porasty, v týchto skupinách pôd by mal byť vplyv pôdotvorného substrátu výraznejší. Kambizeme vyvinuté na vulkanitoch majú nižšie zastúpenie Ca<sup>2+</sup> a K<sup>+</sup> ale výrazne vyššie zastúpenie Mg<sup>2+</sup> v porovnaní s ostatnými skupinami, vyšší obsah horčíka deklaruje v pôdach vyvinutých na vulkanitoch a obsahujúcich smektity ČURLÍK A KOL. (2003). Kambizeme vyvinuté na karbonátoch a na flyši majú vyšší obsah Ca<sup>2+</sup> a nižšie zastúpenie katiónu Mg<sup>2+</sup>. Celková suma dvojmocných bázických katiónov v pomere k sume jednomocných katiónov sa pohybuje od 17,1:1 v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach, OP po 35,9:1 v skupine kambizemí na vulkanitoch, TTP.

V celom súbore kambizemí (n=74, rk=0,30) sú štatisticky významné kladné korelačné vzťahy medzi hodnotou pôdnej reakcie a obsahom výmenného vápnika a horčíka (tab. 3).

**Tab. 2A.** Popisná štatistika bázických katiónov ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) v skupinách kambizemí (hĺbka 0-10 cm) – Mean, minimum, maximum values of exchangeable cations ( $\text{cmol.kg}^{-1}$ ) in Cambisols groups (depth 0-10 cm)

skupina pôd	$\text{Na}^+$ v $\text{cmol.kg}^{-1}$			$\text{K}^+$ v $\text{cmol.kg}^{-1}$			$\text{Ca}^{2+}$ v $\text{cmol.kg}^{-1}$		
	Min	Max	X3	Min	Max	X3	Min	Max	X3
1	0,07	0,11	0,09	0,07	0,65	0,34	2,09	15,46	13,45
2	0,08	0,36	0,20	0,10	0,51	0,22	2,02	24,87	12,39
3	0,01	0,30	0,14	0,30	1,50	0,63	6,10	15,80	11,04
4	0,01	0,13	0,05	0,02	1,29	0,30	1,56	16,55	8,28
5	0,07	0,09	-	0,33	0,34	-	6,40	17,80	-
6	0,20	0,60	0,33	0,20	1,20	0,56	17,80	29,08	21,85
7	0,01	0,04	0,02	0,06	0,61	0,39	8,96	14,48	11,73
8	0,01	0,64	0,09	0,02	0,99	0,41	4,48	27,59	12,27

Poznámka: v skupine- 5 nehodnotíme priemer ani percentuálne zastúpenie pre nízku početnosť daného súboru (n = 3)

**Tab. 2B.**

Pôdny predstaviteľ <sup>1)</sup>	$\text{Mg}^{2+}$ v $\text{cmol.kg}^{-1}$			suma bázických katiónov v $\text{cmol.kg}^{-1}$	pH v $\text{CaCl}_2$
	Min	Max	X3		
1	1,22	2,44	1,83	15,71	5,66
2	1,15	6,76	3,41	16,22	4,90
3	0,70	4,00	2,10	13,87	5,49
4	0,18	4,07	1,48	10,11	4,76
5	2,69	6,39	-	17,45	6,39
6	1,70	3,80	2,14	24,88	6,01
7	0,73	2,28	1,35	13,43	5,93
8	0,64	3,99	1,38	14,15	4,39

**Tab. 2C.** Percentuálne zastúpenie bázických katiónov v skupinách kambizemí- Proportional shares of individual basic cations in %

Pôdny predstaviteľ <sup>1)</sup>	% zastúpenie bázických katiónov			
	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
1	0,50	2,20	85,60	11,7
2	1,20	1,35	76,38	21,00
3	1,00	4,54	79,60	14,86
4	0,50	2,97	81,90	14,63
5	-	-	-	-
6	1,30	2,25	87,80	8,65
7	0,15	2,90	87,34	9,61
8	0,64	2,89	86,70	9,77

Vysvetlivky: 1 - kambizeme na vulkanitoch OP, 2 - kambizeme na vulkanitoch TTP, 3 - kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach OP, 4 - kambizeme na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach TTP, 5 - kambizeme na karbonátových substrátoch OP, 6- kambizeme na karbonátových substrátoch TTP, 7 – kambizeme na flyši OP, 8 – kambizeme na flyši TTP

**Tab. 3** Spearmanove korelačné koeficienty pre bázičné katióny a vybrané parametre pôdy v súbore kambizemí ( $n = 72$ ,  $r_k = 0,30$ ) – Spearman rank correlation coefficients in Cambisols group (between basic cations and selected soil parametres)

parameter	korelačný koeficient (r)						
	pH/ CaCl <sub>2</sub>	<0,01mm	Cox	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
pH/CaCl <sub>2</sub>	1	<b>0,36</b>	0,18	0,23	0,25	<b>0,60</b>	<b>0,38</b>
<0,01mm	<b>0,36</b>	1	0,10	<b>0,31</b>	<b>0,60</b>	<b>0,34</b>	0,10
Cox	0,18	0,10	1	0,10	0,10	0,05	0,05
Na <sup>+</sup>	0,23	<b>0,31</b>	0,10	1	0,20	<b>0,41</b>	<b>0,37</b>
K <sup>+</sup>	0,25	<b>0,60</b>	0,10	0,20	1	<b>0,36</b>	0,10
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,60</b>	<b>0,34</b>	0,05	<b>0,41</b>	<b>0,36</b>	1	<b>0,44</b>
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,38</b>	0,10	0,05	<b>0,37</b>	0,10	<b>0,44</b>	1

Preukaznú závislosť obsahu dvojmocných bázičných katiónov od hodnoty pH potvrdzujú vo svojich prácach viacerí autori (TORMA, 1999, HANES, POLÁČEK, 2002, ČURLÍK A KOL., 2003, MAKOVNIKOVÁ, 2004). Obsah ílových častíc štatisticky významne ovplyvňuje obsah K<sup>+</sup> v pôde. Štatisticky preukazné sú aj vzájomné korelácie medzi obsahom Ca<sup>2+</sup> a ostatnými bázičnými katiónmi.

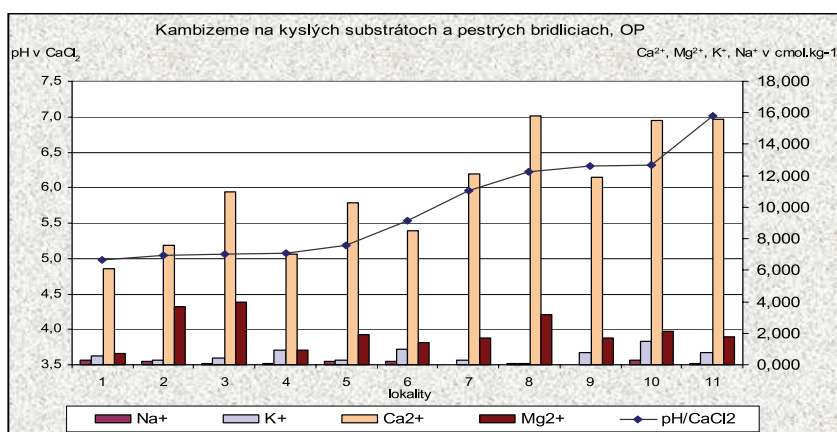
**Tab. 4** Spearmanove korelačné koeficienty pre bázičné katióny a vybrané parametre pôdy v súbore kambizemí využívaných ako orné pôdy ( $n = 42$ ,  $r_k = 0,32$ ) – Spearman rank correlation coefficients in Cambisols group used as arable land (between basic cations and selected soil parametres)

parameter	korelačný koeficient (r)						
	pH/ CaCl <sub>2</sub>	<0,01mm	Cox	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
pH/CaCl <sub>2</sub>	1	<b>-0,81</b>	0,12	<b>0,60</b>	<b>-0,66</b>	<b>0,61</b>	0,12
<0,01mm	<b>-0,81</b>	1	<b>-0,36</b>	<b>0,39</b>	<b>0,58</b>	<b>-0,43</b>	-0,11
Cox	0,12	<b>-0,36</b>	1	<b>-0,43</b>	-0,17	-0,23	0,13
Na <sup>+</sup>	<b>0,60</b>	<b>0,39</b>	<b>-0,43</b>	1	<b>0,35</b>	-0,18	-0,21
K <sup>+</sup>	<b>-0,66</b>	<b>0,58</b>	-0,17	<b>0,35</b>	1	<b>-0,34</b>	<b>-0,51</b>
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,61</b>	<b>-0,43</b>	-0,23	-0,18	<b>-0,34</b>	1	<b>-0,57</b>
Mg <sup>2+</sup>	0,12	-0,11	0,13	-0,21	<b>-0,51</b>	<b>-0,57</b>	1

Vplyv pôdnej reakcie na obsah bázičných katiónov v kambizemiach využívaných ako OP je preukazný v prípade sodíka, draslíka a vápnika. V prípade draslíka je korelácia negatívna na rozdiel od súboru kambizemí využívaných ako TTP, kde je uvedená korelácia pozitívna. Štatisticky preukazné avšak negatívne korelácie sme stanovili aj medzi obsahom ílových častíc a vápnikom, medzi vápnikom a horčíkom, draslíkom a vápnikom a draslíkom a horčíkom (tabuľka 4). Negatívne korelácie sa nepotvrdili v súbore kambizemí využívaných ako TTP (tabuľka 5, obr. 1, obr. 2), takže môžeme predpokladať, že opačné korelácie v súbore kambizemí využívaných ako OP môžu byť dôsledkom nerovnováhy v agrosystéme spôsobenej agrotechnických vstupmi do pôdy ako aj výstupmi z pôdy vo forme bázičných katiónov viazaných rastlinami.

**Tab. 5.** Spearmanove korelačné koeficienty pre bázické katióny a vybrané parametre pôdy v súbore kambizemí využívaných ako trvalé trávne porasty ( $n = 32$ ,  $r_k = 0,35$ ) – Spearman rank correlation coefficients in Cambisols group used as grassland (between basic cations and selected soil parameters)

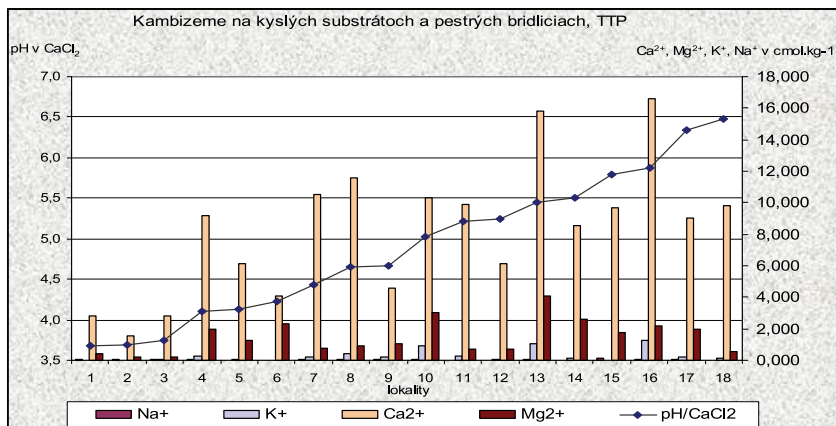
parameter	korelačný koeficient correlation coefficients (r)						
	pH/ CaCl <sub>2</sub>	<0,01mm	Cox	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
pH /CaCl <sub>2</sub>	1	0,33	0,10	<b>0,39</b>	<b>0,50</b>	<b>0,75</b>	<b>0,37</b>
<0,01mm	0,33	1	0,10	0,29	<b>0,62</b>	<b>0,44</b>	-0,10
Cox	0,10	0,10	1	0,12	0,15	-0,10	0,12
Na <sup>+</sup>	<b>0,39</b>	0,29	0,12	1	0,21	<b>0,55</b>	<b>0,56</b>
K <sup>+</sup>	<b>0,50</b>	<b>0,62</b>	0,15	0,21	1	<b>0,49</b>	0,10
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,75</b>	<b>0,44</b>	-0,10	<b>0,55</b>	<b>0,49</b>	1	<b>0,52</b>
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,37</b>	-0,10	0,12	<b>0,56</b>	0,10	<b>0,52</b>	1



Obr. 1 Obsah bázických katiónov v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach – OP v kontexte s hodnotou pH v CaCl<sub>2</sub> – Basic cations in Cambisols group on acid substrates and lean clays used as arable land in context with pH value

## ZÁVER

- v skupine kambizemí je najväčším podielom v rámci bázických katiónov zastúpený Ca<sup>2+</sup>, v orných pôdach je to v priemere 77 % a v trvalých trávnych porastoch 84 %
- výraznejšie rozdiely podľa druhu pozemku sú v zastúpení Mg<sup>2+</sup> (20 % OP a 12 % TTP)
- celková suma bázických katiónov je najnižšia v kambizemiach vyvinutých na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach (TTP), 2,5-násobne vyššia je v skupine kambizemí na karbonátových substrátoch (TTP)
- pomer Ca<sup>2+</sup> : Mg<sup>2+</sup> je najpriaznivejší v skupine kambizemí na kyslých substrátoch, OP s priemernou hodnotou 6,17:1



Obr. 2 Obsah základných kationov v skupine kambizemí na kyslých substrátoch a pestrých bridliciach – TTP v kontexte s hodnotou pH v CaCl<sub>2</sub> – Basic cations in Cambisols group on acid substrates and lean clays used as grassland in context with pH value

- v súbore kambizemí sú štatisticky významné kladné korelačné vzťahy medzi hodnotou pôdnej reakcie a obsahom výmenného vápnika ( $r=0,60$ ) a horčíka ( $r=0,38$ ), medzi obsahom ílovej frakcie < 0,01 mm a obsahom výmenného draslíka ( $r=0,60$ ), štatisticky významné sú aj kladné korelačné vzťahy medzi obsahom výmenného horčíka a obsahom výmenného vápnika ( $r=0,44$ )

## LITERATÚRA

- BIELEK, P. A kol. 1998. *Naše pôdy*. Bratislava: VÚPOP. 80s. ISBN 80-85361-42-6.
- ČURLÍK, J. A kol. 2003. *Pôdna reakcia a jej úprava*. Bratislava: Suma print. 250 s. ISBN 80-967696-1-8.
- FIALA, k a kol. 1999. *Záväzné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – Pôda*. Bratislava: VÚPOP. 142 s. ISBN 80-85361-55-8.
- HANES, J. 1999. *Analýza sorpčných vlastností pôd*. Bratislava: VÚPOP. 138 s. ISBN 80-85361-47-7.
- HANES, J., POLÁČEK, Š. 2002. *Koloidná chémia pôdy*. Bratislava: VÚPOP. 108 s. ISBN 80-85361-96-5.
- HANSEN, H. C. B. (ed.), KOBZA, J., SCHMIDT, R., SZAKÁL, P., BORGAARD, O. K., HOLM, P. E., KANIANSKA, R., BOGNAROVA, S., MAKOVNÍKOVÁ, J., MATÚŠKOVÁ, L., MIČUDA, R., STYK, J. 2001. *Environmental Soil Chemistry*. Banská Bystrica: Matej Bel University. 191 s. ISBN 80-88784-24-7.
- MAKOVNÍKOVÁ J. 2004. *Development of the ecological function from the point their vulnerability*. In JAMBOR, P. (ed.) Proceedings of Soil Science and Conservation Research Institute No. 26, Bratislava: SSCRI, 73-80.
- MAKOVNÍKOVÁ, J. *Variabilita základných kationov vo vybraných pôdnych typoch SR* In Sobocká, J. (ed.) 2005. Štvrté pôdoznalecké dni v SR. Zborník referátov z konferencie pôdoznalcov SR. Bratislava: VÚPOP – SPS, s. 214-219.
- MAKOVNÍKOVÁ, J., BARANČÍKOVÁ, G. *Vybrané indikátory trofickej funkcie kambizemí vyvinutých na flyši*. In *Agrochémia*, č. 3, 2004, s. 27-30.
- MAKOVNÍKOVÁ, J., KANIANSKA, R. 2000. *Indikátory acidifikácie pôd*. In *Záverečná správa ČMS-P*. Bratislava: VÚPOP.
- TORMA, S. 1999. *Draslík – dôležitá živina v pôde a rastline. PEDO-DISERTATIONES*. Bratislava: VÚPOP. 72s. ISBN 80-85361-51-5.

# BIODEGRADÁCIA ROPNÝCH LÁTKOK V PÔDE KOMPOSTOVANÍM

## BIODEGRADATION OF OIL AGENTS IN SOIL BY COMPOSTATION

**Miroslav MEDVEĎ, Libuša MATÚŠKOVÁ**

*Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy, Bratislava*

### ABSTRACT

In short operation two- years' experiment the biodegradation of oil agents in heavily contaminated soil by diesel fuel and motor oil was studied. As a biodegradation method the compostation was chosen. Compost experiment had 5 alternatives of compostation technology. The produced compost has included in the soil in autumn in small parcel experiment with sugar beet and maize corn. The results showed that by compostation in a period of 120 days it is possible to degrade oil agents in soil with 79 to 86 % of effectiveness. By compostation the soil heavily contaminated by oil agents was stabilised to earthy non-toxic compost with a high content of humus agents suitable for cultivation of the sugar beet.

**KEYWORDS:** motor diesel, motor oil, soil contamination, biodegradation, compostation, sugar beet, maize corn

### ABSTRAKT

V maloprevádzkovom dvojročnom pokuse sa študovala biodegradácia ropných látok v silne znečistenej pôde naftou a motorovým olejom. Ako metóda biodegradácie sa zvolilo kompostovanie. Kompostovací pokus mal 5 variantov technológie kompostovania. Vyprodukovaný kompost bol zapravený do pôdy v jeseni v maloparcelkovom pokuse s cukrovou repou a kukuricou na zrno. Výsledky ukázali, že kompostovaním je možné za 120 dní degradovať ropné látky v pôde so 79 až 86 % -nou účinnosťou. Kompostovaním bola pôda silne kontaminovaná ropnými látkami stabilizovaná na zemitý netoxický kompost s vysokým obsahom humusových látok, vhodný k pestovaniu cukrovej repy.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** motorová nafta, motorový olej, kontaminácia pôdy, biodegradácia, kompostovanie, cukrová repa, kukurica na zrno

---



## ÚVOD

Jednou zo skupiny látok, ktoré v súčasnosti vážne ohrozujú životné prostredie sú ropné výrobky. Ich prítomnosť v pôde je potenciálnym nebezpečenstvom pre kvalitu vôd i poľnohospodársku produkciu. Pre voľbu optimálnej technológie likvidácie ropnej látky v pôde je rozhodujúci charakter kontaminácie, druh a koncentrácia kontaminantu. Zvlášť rýchlo je potrebné reagovať na znečistenie pôdy ropnými výrobkami, ktoré sa dostali do pôdy náhlou haváriou. Likvidačný zásah musí byť vykonaný urýchlene a účinne.

Problémom odbúrania ropných výrobkov v pôde sa výskum aj prax zaoberá už dlhšie obdobie. Teoreticky je rozpracovaný a prakticky overený celý rad ciest biodegradácie ropných látok (ESZÉNYIOVÁ 1995, BIELEK 1999, BUJNOVSKÝ 1999, LHOTSKÝ, KORANDA 1997, BIČOVSKÝ, ŠŤASTNÝ 1997). Našou úlohou bolo overiť možnosti biodegradácie ropných látok v pôde pri jej silnom znečistení motorovou naftou a motorovým olejom s využitím druhotných surovín z poľnohospodárskej výroby. Ako metódu biodegradácie sme použili kompostovanie. Technológia kompostovania nie je jednotná a volí sa v závislosti od stanoveného cieľa, ktorý sa má kompostovaním dosiahnuť. Ten okrem výroby humusového hnojiva môže mať za cieľ aj degradáciu nežiadúcich organických látok v substrátoch. V takom prípade technológiu kompostovania je vždy potrebné prispôbovať k prvoradému cieľu. Ale zmyslom využívania kompostu zostáva jeho pôvodný význam - dopĺňať zásoby pôdneho humusu, ktorý je v pôde neustále mineralizovaný. Technologické regulácie sú možné najmä v oblasti aerácie a vlhkosti.

## MATERIÁL A METÓDY

Problematika sa riešila v maloprevádzkových dvojročných pokusoch na výskumno-prevádzkovej stanici Výskumného ústavu pôdoznectva a ochrany pôdy v Macove, kde sa kompostovanie realizovalo v 6 plastových kompostéroch s objemom 0,29 m<sup>3</sup>. Surovinovú skladbu v 5 kompostéroch (K1 až K5) tvorilo 80 kg kontaminovanej pôdy a 50 kg čerstvého slamnatého nevzretého maštalného hnoja. Šiesty kompostér (K6) predstavoval tzv. kontrolu s obsahom 80 kg nekontaminovanej pôdy a 50 kg čerstvého maštalného hnoja. Základné chemické ukazovatele surovinovej skladby pred založením pokusov sú uvedené v tabuľka č. 1. Skúšalo sa 5 variantov technológie kompostovania (tabuľka č. 2).

**Tab. 1.** Chemická analýza surovinovej skladby

Surovina	Sušina %	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> %	N <sub>celk.</sub> %	NEL mg.kg <sup>-1</sup>	pH %	Spaliteľné látky %	Cox
Nekontaminovaná pôda	89,2	23,4	0,166	150	7,55	–	2,11
Čerstvý maštalný hnoj	32,5	–	1,57	295	–	83,2	–

**Tab. 2.** *Varianty kompostovania*

Varianty (označenie kompostérov)	Konc. RL v pôde v %	Surovinová skladba kompostu v kg		Rozdelenie aeróbných (a) a anaeróbných (n) fáz (1 fáza = 30 dní)			
		Pôda	maštalný hnoj	1.	2.	3.	4.
1. (K1)	1,56	80	50	a	a	a	a
2. (K2)	1,58	80	50	n	a	a	a
3. (K3)	1,55	80	50	n	n	a	a
4. (K4)	1,55	80	50	n	n	n	a
5. (K5)	1,57	80	50	n	n	n	n
6. (K6)	0,015	80	50	n	n	a	a

Pôda bola kontaminovaná zmesou motorovej nafty a motorového oleja v hmotnostnom pomere 1:2, dôkladne zhomogenizovaná a stabilizovaná. Proces kontaminácie (homogenizácia, stabilizácia) prebiehal od 10. mája do 1. júna. Koncentrácia ropných látok (RL) v kontaminovanej pôde sa v jednotlivých kompostéroch (K1 až K5) pohybovala od 1,55 do 1,58 %. Kompostovacie pokusy boli založené 2. júna striedavým vrstvením kontaminovanej pôdy a čerstvého slamnatého nevyzretého maštalného hnoja v kompostéroch. Aerobné fázy boli zabezpečované prevzdušňovaním (prekopávaním) surovinej skladby. Kompostovacie pokusy boli ukončené 1. októbra.

Vyprodukovaný kompost z kompostéra K1 bol v dávke  $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  aplikovaný na jeseň (28. októbra) do pôdy pre pestovanie cukrovej repy a kukurice na zrno v poľnom maloparcelkovom pokuse. Na porovnanie bol založený variant, kde namiesto kompostu bol do pôdy aplikovaný vyzretý maštalný hnoj v dávke  $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Plocha jednej pokusnej parcely mala výmeru  $1 \text{ m}^2$ . Jednotlivé parcelky boli od seba izolované 10mm hrubými doskami z plastu zakopanými do hĺbky 0,35 m. Sejba kukurice na zrno (spon  $50 \times 20 \text{ cm}$ ) a cukrovej repy (spon  $45 \times 20 \text{ cm}$ ) bola realizovaná 27. apríla, zber repy 12. októbra a zber kukurice 9. októbra.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Produkcija kompostu v jednotlivých kompostéroch je uvedená v tabuľke č. 3.

**Tab. 3.** *Produkcija kompostu*

Ukazovateľ	Označenie kompostérov					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Hmotnosť kompostu v kg suchej hmoty	62,4	62,0	69,7	77,2	65,2	75,9

Z výsledkov v tabuľke č.3 vyplýva, že produkciu kompostu ovplyvnilo rozdelenie aeróbných a anaeróbných fáz počas kompostovania. Ak stotožníme 30 dní s jednou fázou, tak môžeme konštatovať, že vyššia produkcia kompostu bola za podmienok, keď prvé 2-3 fázy kompos-

tovania boli anaeróbne a až posledné 1-2 fázy aeróbne. Kvalita vyprodukovaných kompostov je prezentovaná v tabuľke č. 4.

**Tab. 4. Základné ukazovatele kvality vyprodukovaných kompostov**

Hodnotiace ukazovatele	Varianty kompostovania (označenie kompostérov)					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Vlhkosť v %	35,0	40,4	35,2	35,7	43,1	32,2
Spaliteľné látky v %	15,3	12,5	11,2	9,72	13,4	10,2
Celkový dusík v %	0,53	0,42	0,38	0,34	0,50	0,36
C : N	14,5	14,9	14,8	14,3	13,4	14,2
pH	7,32	7,93	7,94	7,95	7,68	7,83
Humus v %	13,4	11,9	10,1	12,6	12,3	8,19

Bol vyprodukovaný zemitý kompost s vysokým obsahom humusu od 8,2 do 13,4 %. Produkcia humusu kompostovaním sa pohybovala od 3,62 kg do 7,16 kg humusu na kompostér (tabuľka č. 5). Ovplyvňovalo ju rozdelenie aeróbných a anaeróbných fáz v priebehu kompostovania. Najviac humusu sa vyprodukovalo v kompostéri K4, kde prvé 3 fázy kompostovania boli anaeróbne a posledná štvrtá aeróbne. Ukazuje sa, že pre maximum humifikácie je vhodné v prvej časti kompostovacieho procesu nahromadiť zásobu intermediátov pomocou anaeróbného metabolizmu a ďalšej časti zväčšovať aeráciu, ktorá uvoľní energiu pre syntetické procesy.

**Tab. 5. Produkcia humusu v kompostéroch**

Ukazovateľ	Označenie kompostérov					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Produkcia humusu v kg / kompostér	5,78	4,79	4,48	7,16	5,45	3,62

Hodnoty produkcie humusu však platia len za zjednodušených podmienok, kedy zanedbáme mineralizáciu pôdneho humusu, ktorý obsahovala v surovinovej skladbe pôda a nepresnosti stanovenia humusu samotnou oxidometrickou metódou. Oxidovateľný uhlík v komposte totiž nemusí, vzhľadom na surovinovú skladbu základky, zahrňovať len uhlík skutočného humusu, ale i uhlík organickej hmoty, ktorá v komposte neprešla transformačným procesom humifikácie. Všetky vyprodukované komposty spĺňali podmienky akosti priemyselných kompostov z hľadiska obsahu ťažkých kovov a obsahy polychlórovaných bifenylov (PCB) a polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAU) v komposte nepredstavovali žiadne riziko prekročenia záväzného limitu ich obsahu v pôde (tabuľka č. 6).

Bilancia nepolárnych extrahovateľných látok (NEL) v systéme surovinová skladba (kontaminovaná pôda, maštalný hnoj) – kompost je prezentovaná v tabuľke č.7.

**Tab. 6.** Obsahy ťažkých kovov, PAU a PCB vo vyprodukovaných kompostoch

Hodnotiace ukazovatele	Varianty kompostovania (označenie kompostérov)					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
PAU mg.kg <sup>-1</sup>	1,13	2,73	2,42	3,24	3,25	0,07
PCB µg.kg <sup>-1</sup>	0,43	0,73	0,22	*	*	0,44
Cd mg.kg <sup>-1</sup>	0,24	0,17	0,09	<MS	<MS	<MS
Cu mg.kg <sup>-1</sup>	19,2	17,6	17,5	18,3	18,8	17,1
Zn mg.kg <sup>-1</sup>	102,1	99,7	92,2	93,4	97,3	67,0
Pb mg.kg <sup>-1</sup>	9,95	8,39	9,01	9,72	10,73	8,92
Cr mg.kg <sup>-1</sup>	13,1	15,3	14,5	17,3	13,1	14,8
Hg mg.kg <sup>-1</sup>	0,039	0,034	0,039	0,037	0,039	0,038
As mg.kg <sup>-1</sup>	5,50	5,63	6,00	6,00	5,63	6,00
• nestanovené MS – medza stanoviteľnosti						

**Tab. 7.** Bilancia NEL v systéme surovinová skladba – kompost

Označenie kompostéra	Celkový obsah NEL v g/kompostér		Úbytok NEL v %
	V surovinovej skladbe	Po ukončení pokusu	
K1	1254,4	185,4	85,22
K2	1271,5	236,9	81,37
K3	1244,0	255,2	79,49
K4	1242,4	222,2	82,12
K5	1259,2	170,9	86,43
K6	16,9	2,2	86,98

Z tabuľky č. 7 vyplýva, že vzhľadom na obsah NEL v surovinovej skladbe bol docielený 79 až 86 %-ný úbytok ropných látok. Biodegradáciu ropných látok v kontaminovanej pôde ovplyvňovalo rozdelenie anaeróbných a aeróbných fáz pri kompostovaní. Najvyššia bola vo výlučne anaeróbných, resp. aeróbných podmienkach. Striedanie anaeróbných fáz s aeróbnymi nezvýšilo účinok biodegradácie, naopak, úbytok NEL bol nižší o 3 až 7 %. Uhlíkovodíková kontaminácia bola hodnotená ako celkový obsah nepolárnych extrahovateľných látok (NEL), ktoré sú skupinovým ukazovateľom s významnou indikačnou hodnotou pri stanovení uhlíkovodíkov len v tých prípadoch, kedy možno jednoznačne dokázať, že skúmaný substrát obsahuje len ropné látky. Vo vzorkách kompostu môže byť obsah NEL nielen ropného, ale aj biogénneho pôvodu a nami použitou metódou to nebolo možné rozlíšiť. Preto naše sledovanie biodegradácie ropných látok stanovením NEL mohlo priniesť nepresnosti spôsobené zvyšujúcimi sa interferenciami látok zamieňanými za uhlíkovodíky. Ide hlavne o niektoré frakcie organickej zložky zemitého kompostu (humus resp. humínové kyseliny) a vznikajúce prekurzory humusu, tzv. tranzienty biodegradácie, ktoré majú podobné fyzikálno - chemické vlastnosti ako humus, resp. humínové kyseliny. Z uvedeného vyplýva, že účinnosť biodegradácie ropných látok kom-

postovaním je pravdepodobne vyššia ako je to prezentované v tabuľke č.7. Vo všeobecnosti technológia kompostovania nie je jednotná a volí sa v závislosti od stanoveného cieľa, ktorý sa má kompostovaním dosiahnuť. V našom prípade to v prvom rade bola biodegradácia ropných výrobkov v pôde a v druhom rade výroba humusového hnojiva. Z tohto a aj z ekonomického hľadiska (náklady na aeráciu) možno pokladať zo skúmaných variantov kompostovania za optimálny anaeróbny variant vo všetkých štyroch fázach kompostovania.

Straty organicky viazaného dusíka a ropných látok zo surovínovej skladby kompostu v procese kompostovania sú uvedené v tabuľke č. 8.

**Tab. 8. Straty organicky viazaného dusíka a ropných látok v procese kompostovania**

Varianty (označ.kompostéra)	Straty v %	
	dusíka	ropných látok
1. (K1)	11,26	85,22
2. (K2)	30,29	81,37
3. (K3)	28,15	79,49
4. (K4)	29,76	82,12
5. (K5)	12,60	86,43

Z tabuľky č.8 vyplýva, že účinnosť biodegradácie ropných látok kompostovaním súvisela s stratami organicky viazaného dusíka v procese kompostovania. Čím boli straty dusíka nižšie, tým bola účinnosť biodegradácie vyššia. Táto závislosť sa dala vyjadriť informatívne (nízky počet pozorovaní) lineárnou rovnicou

$$UB = -0,2648 Ns + 88,86 \quad r = 0,8940$$

Kde UB je účinnosť biodegradácie ropných látok v % a Ns sú straty organicky viazaného dusíka v procese kompostovania v %. Ukazuje sa teda, že jednou z možností zvýšenia biodegradácie ropných látok v pôde kompostovaním je znižovanie strát organicky viazaného dusíka v procese kompostovania.

Úroda cukrovej repy a jej technologická akosť sú prezentované v tabuľkách č. 9 a 10.

**Tab. 9. Úrody cukrovej repy**

Variant hnojenia	Dávky hnojenia	Úroda v kg.m <sup>-2</sup>	
		Bulvy	Skrojky
1	A	7,7	9,0
2	B	8,7	9,2

A: (100 t kompostu K1.ha<sup>-1</sup>+ 50 kg N.ha<sup>-1</sup> + 40 kg P.ha<sup>-1</sup> + 90 kg K.ha<sup>-1</sup>) na jeseň a 50 kg N.ha<sup>-1</sup> na jar  
 B: (50 t maštalného hnoja.ha<sup>-1</sup> + 50 kg N.ha<sup>-1</sup> + 40 kg P.ha<sup>-1</sup> + 90 kg K.ha<sup>-1</sup>) na jeseň a 50 kg N.ha<sup>-1</sup> na jar

**Tab.10. Technologická akosť cukrovej repy**

Variant hnojenia	Technologická akosť				Produkcia digesčného cukru v kg.m <sup>-2</sup>
	Cukornatosť v %	Necukry v mmol / 100g			
		K	Na	α-aminoN	
1	14,72	6,0	0,31	2,98	1,13
2	14,42	6,4	0,15	2,87	1,25

Z údajov tabuliek č. 9 a 10 vyplýva, že aplikácia kompostu z kompostéra K1 neovplyvnila výraznejšie negatívne úrodu cukrovej repy a ani jej technologickú akosť, hoci v porovnaní s aplikovaným maštaľným hnojom sa dosiahla nižšia úroda buliev o 11 %. V prepočte na 1 ha úroda buliev predstavovala 77 ton pri produkcii 11,3 tony digesčného cukru z hektára. Z tabuľky č. 9 vidieť, že aplikácia kompostu pozitívne ovplyvnila obsah sacharózy v repe – bol o 0,3% vyšší ako v repe, kde bol namiesto kompostu aplikovaný maštaľný hnoj.

Úrody kukurice na zrno prezentuje tabuľka č. 11.

**Tab. 11. Úroda kukurice na zrno**

Variant hnojenia	Dávky hnojív	Úroda v kg.m <sup>-2</sup>	
		Nadzemná časť kukurice	Zrno
1	A	6,50	2,16
2	B	5,9	1,87

A: (100 t kompostu K1. ha<sup>-1</sup> + 75kg N.ha<sup>-1</sup> + 40kg P.ha<sup>-1</sup> + 90kg K.ha<sup>-1</sup>) na jeseň a 37,5kg N.ha<sup>-1</sup> na jar  
 B: (50 t maštaľného hnoja.ha<sup>-1</sup> + 75kg N.ha<sup>-1</sup> + 40kg P.ha<sup>-1</sup> + 90kg K.ha<sup>-1</sup>) na jeseň a 37,5kg N.ha<sup>-1</sup> na jar

Z údajov v tabuľke č. 11 vyplýva, že zapravenie kompostu z kompostéra K1 úrodu kukurice ovplyvnilo pozitívne. Úroda nadzemnej biomasy kukurice i zrna bola vyššia ako úroda kukurice pestovanej so štandardným hnojením s maštaľným hnojom.

## ZÁVER

K biodegradácii ropných výrobkov v silne kontaminovaných pôdach kompostovaním možno s úspechom využiť čerstvý slamnatý nevyzretý maštaľný hnoj. Za 120 dní je tak možné degradovať ropné látky v pôde pri silnom znečistení naftou a motorovým olejom so 79 až 86 %-nou účinnosťou. Kompostovaním je možné pôdu, silne kontaminovanú ropnými výrobkami, stabilizovať na zemitý netoxický kompost s vysokým obsahom humusových látok, vhodný k pestovaniu cukrovej repy. Využitie kompostu k pestovaniu kukurice na zrno možno odporučiť až po prešetrení jeho vplyvu na kvalitatívne ukazovatele tejto plodiny.

Polné pokusy s kukuricou na zrno a cukrovou repou ukázali, že zemitý kompost vyrobený z pôdy kontaminovanej naftou a motorovým olejom a nevyzretým maštaľným hnojom svojimi hnojivými účinkami môže nahradiť za určitých podmienok vyzretý maštaľný hnoj.

K degradácii ropných látok v pôde je vhodné použiť čerstvý maštalný hnoj a ako metódu biodegradácie kompostovanie. Tento spôsob biodegradácie je lacný a technicky jednoduchý a navyše vyprodukovaný zemitý kompost možno hospodárne využiť.

## LITERATÚRA

- BIELEK, P., MEDVEĎ, M., MATUŠKOVÁ, L. *Biodegradácia motorovej nafty v pôde*. In Zborník referátov NEL - analytika a interpretácia výsledkov. Žilina, 1999.
- BIČOVSKÝ, K. – ŠTASTNÝ, J. *Zkušenosti se sanací zemín*. In Odpady, 1997, č. 2, s.14-15.
- BUJNOVSKÝ, R. et al. *Riešenie podmienok kompostovateľnosti biologického kalu z ČOV Slovaft a. s. a využitia získaného kompostu*. Priebežná správa. Bratislava : VÚPOP. 1999.
- ESZÉNYIOVÁ, A. *Asanácia pôdy znečistenej ropnými látkami biologickou cestou*. In Ropa a uhlie, 37, 1995, č. 1, s. 62-66.
- LHOTSKÝ, R., KORANDA, K. *Biodegradace organických kontaminantu. Princípy, možnosti a omezení*. In Odpady, 1997, č. 2, s. 11-14.
-

# AGROBIOLOGICKÁ DEGRADÁCIA MOTOROVEJ NAFTY V PÔDE

## AGROBIOLOGICAL DEGRADATION OF MOTOR PETROLEUM IN THE SOIL

**Miroslav MEDVEĎ, Libuša MATÚŠKOVÁ**

*Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava*

### ABSTRACT

During three years we were study in the field trial degradation of motor petroleum in the soil and its influence on the cultivation of the maize, winter wheat and sugar beet in the rotation of crop. Motor petroleum to reach soil by crash, after flowed out on the soil in the dose 10 mm. The association of soil microbes is capable to react on the presence of motor petroleum in the soil. By agricultural arrangements (mellowing, watering, fertilizing) is possible to make suitable conditions for their activity. The most expressive degradation came in the contaminated soil which was fertilized by dung. Contaminated soils for agricultural utilizing we can't to use for two years, during this time it will be executed re-cultivation of degraded soil.

**KEYWORDS:** motor petroleum, soil contamination, biodegradation, sugar beet, maize, winter wheat

### ABSTRAKT

V trojročnom poľnom pokuse sa študovala degradácia motorovej nafty v pôde a jej vplyv na pestovanie silážnej kukurice, ozimnej pšenice a cukrovej repy v oševnom postupe. Motorová nafta sa dostala do pôdy haváriou, keď na pôdu vytekla nafta v dávke 10 mm. Spoločenstvo pôdnych mikroorganizmov je schopné reagovať na prítomnosť nafty v pôde. Agrotechnickými opatreniami (kyprením, zavlažovaním a hnojením) je možné vytvoriť vhodné podmienky k ich činnosti. K najvýraznejšiemu odbúravaníu nafty došlo v kontaminovanej pôde vyhnojenej maštalným hnojom. Kontaminovanú pôdu pre poľnohospodárske využitie je nevyhnutné nevyužívať najmenej 2 roky, v priebehu ktorých sa účinne vykoná rekultivácia postihnutej pôdy.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** motorová nafta, kontaminácia pôdy, biodegradácia, cukrová repa, kukurica, ozimná pšenica.

---



## ÚVOD

Kontaminácia pôd ropnými výrobkami je spôsobená antropickou činnosťou - buď náhlou haváriou alebo postupnou kumuláciou.

Proces rozkladu ropnej látky v kontaminovanej pôde metabolickou činnosťou mikroorganizmov prebieha obvykle pomaly, avšak agrotechnickými opatreniami (kyprenie, hnojenie, zavlažovanie) je možné tento proces urýchliť. Kľúčovú úlohu tu zohráva dostatočné množstvo kyslíka, živín a vody. Uvádza sa, že ropné látky potrebujú na úplnú oxidáciu 1 g 3 až 4 g kyslíka (LHOTSKÝ, KORANDA 1997). Zabezpečujeme ho hlavne kyprením pôdy. Proces rozkladu ropnej látky je stimulovaný prítomnosťou dostatočného množstva živín. Pôda kontaminovaná ropnou látkou má dostatok uhlíka a limitujúcim faktorom je nedostatok dusíka a fosforu. Pre biodegradačnú technológiu je nepostradateľná prítomnosť vody v pôde. Jej obsah v pôde nemá byť veľmi vysoký, ani veľmi nízky. Vysoká vlhkosť pôdy môže negatívne ovplyvniť rýchlosť biodegradácie tým, že vyvoláva nedostatok kyslíka v pôde. Nízky obsah vody zase inhibuje aktivitu mikroorganizmov. Za optimálne hodnoty sa považuje rozmedzie 20 až 30% vlhkosti (ESZÉNYIOVÁ 1995).

Našou úlohou bolo iniciovať biodegradáciu motorovej nafty v pôde agrotechnickými opatreniami priamo na pôvodnom mieste kontaminácie (in situ) a overiť vplyv kontaminácie na pestovanie plodín.

## MATERIÁL A METÓDY

Degradácia motorovej nafty v pôde sa študovala v poľnom trojročnom pokuse na čiernici karbonátovej južného Slovenska v areáli Výskumno-prevádzkovej stanice Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy v Macove. Motorová nafta sa dostala do pôdy zinscenovanou haváriou, keď na ohraničenú plochu vytekla nafta v dávke 10 mm. Uvedená lokalita sa nachádza v oblasti s mierne teplým typom teplotného režimu pôdy s dobrou štruktúrou. Z hľadiska obsahu prístupných živín v pôde, zaraďujeme pôdu pokusného miesta do kategórie s dobrým obsahom fosforu a draslíka a s vysokým obsahom horčíka.

Maloparcelkový presný poľný pokus bol rozdelený na dve časti: A a B. Časť A predstavovala pokusnú plochu kontaminovanú motorovou naftou, časť B nekontaminovanú plochu. V každej časti boli založené 4 varianty hnojenia v trojnásobnom opakovaní. Základná plocha jedného pokusného variantu predstavovala výmeru 1 m<sup>2</sup>. Jednotlivé varianty pokusu boli od seba izolované 1 cm hrubými doskami z plastu zakopanými do hĺbky 0,35 m. Časť kontaminovaná naftou bola oddelená od nekontaminovanej aj priestorovo.

Motorová nafta bola na všetkých parcelkách pokusu aplikovaná na pôdu 3. apríla 1998 v dávke 10 mm (8,32 kg m<sup>-2</sup>). Po stabilizácii ropnej látky v pôde boli 22. apríla 1998 zapravené do pôdy dusíkaté a fosforečné hnojivo resp. maštalný hnoj. Hnojivá boli zapravené najprv do hĺbky 0,05 m motykou, následne na to boli parcelky prekopané rýľom na dĺžku rýľa (cca 0,28 m). Celkovo bolo vytvorených 8 variantov, z toho 4 varianty hnojenia na kontaminovanej a 4 na nekontaminovanej pôde (tabuľka č. 1).

---

**Tab. 1.** Popis variantov hnojenia na kontaminovanej a nekontaminovanej pôde

Variant č.	Varianty hnojenia (dávky dusíka a fosforu)		
	Skrátené označenie	označenie parceliek	Popis variantu hnojenia
1	N0P0	1,5,7	Pôda nehnojená dusíkom a fosforom
2	N200P20	2,6,8	Pôda hnojená dusíkom (200 kg.ha <sup>-1</sup> ) a fosforom (20kg.ha <sup>-1</sup> )
3	N400P40	3,9,11	Pôda hnojená dusíkom(400 kg.ha <sup>-1</sup> ) a fosforom(40kg.ha <sup>-1</sup> )
4	MH60t	4,10,12	Pôda vyhnojená maštalným hnojom(60 t.ha <sup>-1</sup> )

Na variantoch č. 2 a č. 3 bol dusík aplikovaný z DAM 390 a  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . V ďalšom priebehu pokusov sa každých 14 dní kyprila pôda rýlovaním na všetkých variantoch častí a a B.

Dňa 6. júla 1998 sme jednu tretinu kontaminovanej i nekontaminovanej plochy (parcelky č. 1, 2, 3, 4) vyhnojili dusíkom (80 kg. ha<sup>-1</sup>), fosforom (50 kg. ha<sup>-1</sup>) a draslíkom (110 kg. ha<sup>-1</sup>) a 13. júla 1998 sme na parcelky zasiai silážnu kukuricu. Súčasne na týchto parcelkách bolo ukončené kyprenie. Zostávajúca pokusná plocha (parcelky č. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) bola naďalej pravidelne kyprená, avšak v predĺžených intervaloch (1-krát mesačne, naposledy 16. septembra 1998. Zber silážnej kukurice bol 22. septembra 1998.

Parcelky po silážnej kukurici (č. 1, 2, 3, 4) boli 23. septembra 1998 vyhnojené fosforom (40 kg. ha<sup>-1</sup>) a draslíkom (80 kg. ha<sup>-1</sup>) a 14. októbra 1998 bola na týchto parcelkách zasiať ozimná pšenica. Na jar 1999 bola ozimná pšenica dvakrát prihnojená dusíkom: najprv dávkou 30 kg. ha<sup>-1</sup> a po troch týždňoch dávkou 40 kg. ha<sup>-1</sup>. Zber ozimnej pšenice bol 30. júna 1999.

Druhá tretina pokusnej plochy a i B (parcelky č. 5, 6, 11, 12) bola 21. októbra 1998 vyhnojená maštalným hnojom (50 t. ha<sup>-1</sup>), fosforom (50 kg. ha<sup>-1</sup>) a draslíkom (120 kg. ha<sup>-1</sup>) pre cukrovú repu. Parcelky pripravené pre cukrovú repu boli v marci 1999 vyhnojené dusíkom (50 kg. ha<sup>-1</sup>) a 7. apríla 1999 bola na nich vysiata cukrová repa. Zber cukrovej repy bol 12. októbra 1999. Zostávajúca tretina pokusnej plochy a i B (parcelky č. 7, 8, 9, 10) bola ďalej využívaná pre iné zameranie výskumu.

Parcelky po ozimnej pšenici (č. 1, 2, 3, 4) boli vyhnojené dusíkom (80 kg. ha<sup>-1</sup>), fosforom (50 kg. ha<sup>-1</sup>) draslíkom (110 kg. ha<sup>-1</sup>) a 14. júla 1999 bola na vyhnojené parcelky zasiať silážna kukurica. Zber silážnej kukurice bol 7. októbra 1999.

Parcelky po silážnej kukurici (č. 1, 2, 3, 4) boli 20. októbra 1999 vyhnojené dusíkom (40 kg. ha<sup>-1</sup>), fosforom (40 kg. ha<sup>-1</sup>) a draslíkom (80 kg. ha<sup>-1</sup>) a na parcelky bola vysiata 28. októbra 1999 ozimná pšenica. Na jar (23. marca 2000) bola ozimná pšenica prihnojená dusíkom v dávke 30 kg. ha<sup>-1</sup>. Zber ozimnej pšenice bol 22. júna 2000.

Parcelky po cukrovej repe (č. 5, 6, 11, 12) boli 28. októbra 1999 vyhnojené maštalným hnojom v dávke 50t. ha<sup>-1</sup> a priemyselnými hnojivami (50 kg dusíka, 40 kg fosforu a 90 kg draslíka na hektár) opäť pre cukrovú repu. Na jar (4. apríla 2000) boli prihnojené parcelky pod cukrovú repu dusíkom (50kg. ha<sup>-1</sup>) a 27. apríla 2000 bola na parcelkách zasiať cukrová repa. Zber cukrovej repy bol 12. októbra 2000.

Parcelky po ozimnej pšenici (č. 1, 2, 3, 4) boli vyhnojené dusíkom (75 kg. ha<sup>-1</sup>), fosforom

(40 kg. ha<sup>-1</sup>) a draslíkom (90 kg. ha<sup>-1</sup>) a 19. júla 2000 bola na vyhnojenej parcelke zasiata silážna kukurica. Zber silážnej kukurice bol 13. októbra 2000.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Dynamika zmien koncentrácie ropnej látky v ornici

Dynamika zmien koncentrácie motorovej nafty v ornici v závislosti od variantov hnojenia je uvedená v tabuľke č. 2

**Tab. 2.** *Dynamika zmien koncentrácie ropnej látky v ornici (rok 1998)*

Variant	Dátum, % ropnej látky v ornici (0-0,30m)						
	22. 4.	22. 5.	22. 6.	6. 7.	3. 8.	10. 9.	6. 10.
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub>	1,34	1,01	0,74	0,30	0,27	0,20	0,20
N <sub>200</sub> P <sub>20</sub>	1,34	0,98	0,70	0,24	0,23	0,20	0,18
N <sub>400</sub> P <sub>40</sub>	1,34	1,15	0,54	0,22	0,22	0,20	0,19
MH <sub>60t</sub>	1,34	0,64	0,46	0,17	0,15	0,12	0,11

Z údajov v tabuľke vyplýva, že vo všetkých variantoch hnojenia došlo k podstatnému zníženiu koncentrácie ropnej látky v ornici už po 92 dňoch od zinscenovanej havárie. Ďalšie postupné znižovanie koncentrácie možno charakterizovať ako veľmi mierne. Výsledky poukazujú na neefektívnosť vyššej dávky priemyselného hnojiva (variant N<sub>400</sub>P<sub>40</sub>), nakoľko dvojnásobné náklady na hnojivo neprinesli adekvátne zníženie koncentrácie ropnej látky v ornici. Podobne možno hodnotiť hnojený variant N<sub>200</sub>P<sub>20</sub> s nehnojeným variantom N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>. Z tabuľky č. 2 vidieť rozdielny účinok anorganického a organického hnojenia na degradáciu ropnej látky v ornici. Maštalný hnoj v dávke 60 t.ha<sup>-1</sup> pôsobil jednoznačne účinnejšie pri znižovaní koncentrácie ropnej látky v ornici. Z výsledkov možno konštatovať, že po 192 dňoch od aplikácie motorovej nafty na pôdu sa v pôdnom horizonte 0 až 0,3 m nachádzalo v závislosti od variantov hnojenia 5,3 až 9,4 % z celkového aplikovaného množstva ropnej látky. Najväčší úbytok ropnej látky v ornici (94,7%) bol zaznamenaný na variante vyhnojenom maštalným hnojom.

### Pestovanie plodín v prvom roku kontaminácie pôdy

V termíne sejby silážnej kukurice (13. júla 1998) sa koncentrácia ropnej látky v ornici kontaminovanej pôdy pohybovala od 0, 18 do 0,33%. Kukurica začala vzhádzať 20. júla a už k 27. júlu bolo možné dobre charakterizovať stav porastu. Porast na nekontaminovanej pôde bol bezchybný, vývojový stupeň 3. list, 15 až 20 cm vysoký, silný a vyrovnaný. Porast na kontaminovanej pôde bol vývinove zaostalý, nevyvinutý, obsahoval prevažne len kľúčne listy a niektoré z nich boli na hranici poškodenia. Porast bol 3 až 10 cm vysoký, prevažne veľmi slabý. Na prvý pohľad bolo možné konštatovať hlboký negatívny vplyv motorovej nafty na počiatkový vývin silážnej kukurice. Už 30. júla kukurica pestovaná na kontaminovanej pôde javila známky žltnutia. Napriek tomu, že sa porast stával vyrovnanejším a väčším, vzrastom podstatne zaos-

tával za porastom na variantoch , kde nebola aplikovaná motorová nafta. Postupne sa úplne zastavil rast porastu, čiastočne sa skrúcal a zoschol. Z hľadiska pestovateľa bol porast úplne nevyhovujúci. Zber silážnej kukurice (22. septembra 1998) ukázal, že hmotnosť silážnej kukurice „dopestovanej“ na kontaminovanej pôde dosahovala len 2 až 4 % hmotnosti kukurice dopestovanej na nekontaminovanej pôde.

V termíne sejby ozimnej pšenice (14. októbra 1998) sa koncentrácia ropnej látky v ornici kontaminovanej pôdy pohybovala od 0,11 do 0,21 %. Stav porastu bolo možné dobre charakterizovať až na jar 1999. V druhej polovici apríla sa u porastu ozimnej pšenice na kontaminovanej pôde spozorovali výrazné morfológické zmeny. Oproti porastu na nekontaminovanej pôde bola pozorovaná evidentná retardácia rastu. Porast bol slabozelený až nažltnutý, na poraste bolo badať usychanie listov a celkovú slabú rastovú kondíciu. Kosba pšenice bola 30. júna 1999. Z agronomického hľadiska sa na kontaminovanej pôde dopestoval nevyhovujúci produkt – v pšenici sa nevytvorilo zrno. Hmotnosť nadzemnej čerstvej biomasy pšenice na kontaminovanej pôde dosahovala len 15 až 50 % z nadzemnej biomasy pšenice dopestovanej na nekontaminovanej pôde.

### **Pestovanie plodín rok po kontaminácii pôdy**

V termíne sejby cukrovej repy (7. apríla 1999) sa koncentrácia ropnej látky v ornici kontaminovanej pôdy pohybovala od 0,18 do 0,23 %. Počas celej vegetačnej doby bolo pozorované evidentné zaostávanie vývoja cukrovej repy pestovanej na kontaminovanej pôde v porovnaní s repou na nekontaminovanej pôde. Problémy boli i so vzchádzaním repy na kontaminovanej pôde, keď ešte 10. mája bola repa len ojedinele vzídená. Úrody biomasy cukrovej repy na kontaminovanej pôde dosahovali len 25,3 až 43,7 % z biomasy repy pestovanej na pôde nekontaminovanej. Analogicky v prípade buliev to bolo 13,0 až 36,7 % a v prípade skrojkov 46,2 až 56,3 %. Avšak najväčším negatívnym dopadom kontaminácie naftou bola skutočnosť, že repa dopestovaná na kontaminovanej pôde bola z technologického hľadiska nevhodná na spracovanie v cukrovare pre deformáciu koreňov (rozvetvené celerovité drenovité korene).

V termíne sejby silážnej kukurice (14. júla 1999) sa koncentrácia ropnej látky v ornici kontaminovanej pôdy pohybovala od 0,15 do 0,18 %. Kukurica začala vzchádzať 20. júla. Vzchádzanie na kontaminovanej pôde bolo o máličko slabšie ako na nekontaminovanej pôde, kde vzchádzanie bolo dobré. Medzi kukuricou dopestovanou na kontaminovanej pôde a nekontaminovanej pôde nebol v čase zberu vizuálny rozdiel. Úrody silážnej kukurice (počet jedincov 60 000 z ha) sú uvedené v tabuľke č. 3.

**Tab 3. Úrody silážnej kukurice (rok 1999)**

Označenie parceliek	Úrody silážnej kukurice v kg. m <sup>-2</sup>	
	kontaminovaná pôda	nekontaminovaná pôda
1	2,30	3,86
2	2,82	2,94
3	3,46	3,64
4	1,92	2,52

Z tabuľky možno konštatovať náznak vyrovnávania sa výšky úrod silážnej kukurice na kontaminovanej pôde s úrodami na nekontaminovanej pôde.

V termíne sejby ozimnej pšenice (28. októbra 1999) sa koncentrácia ropnej látky v ornici kontaminovanej pôdy pohybovala od 0,11 do 0,21 %. Výsledky tohoto pokusu majú len informatívny charakter, nakoľko v dôsledku náletov vtákov v klasoch pšenice nebolo takmer žiadne zrno, čo znemožnilo objektívne vyhodnotiť pokus. Pre informáciu – úrody nadzemnej biomasy pšenice na kontaminovanej pôde boli o 8,6 až 36,5 % nižšie.

### **Pestovanie plodín druhý rok po kontaminácii pôdy**

V termíne sejby cukrovej repy (27. apríla 2000) sa koncentrácia ropnej látky v ornici kontaminovanej pôdy pohybovala od 0,16 do 0,21 %. Priemerné úrody a technologická akosť cukrovej repy sú uvedené v tabuľke č. 4.

**Tab. 4.** Úrody a technologická akosť cukrovej repy (rok 2000)

Variant	Priemerná úroda v kg. m <sup>-2</sup>		Cukornatosť v %	mmol/100g rezkov			Produkcja digesčného cukru v kg. m <sup>-2</sup>
	bulvy	Skrojky		K	Na	α-amino dusík	
Kontaminovaná pôda	8,35	5,38	14,27	5,66	0,47	2,56	1,19
Nekontaminovaná pôda	8,70	9,20	14,42	6,40	0,15	2,87	1,26

Z údajov v tabuľke možno konštatovať, že kontaminácia pôdy motorovou naftou v roku 1998 neovplyvnila negatívne výnosy cukrovej repy pestovanej v roku 2000. Úrody cukrovej repy dosiahli na kontaminovanej pôde vysokú úroveň. V informatívnom prepočte na 1 ha priemerná úroda buliev predstavovala (pri počte jedincov 80 000 na ha) až 84 ton. Z morfológického a fyziologického hľadiska boli korene cukrovej repy plne vyhovujúce pre spracovanie v cukrovare. Na nekontaminovanej, ale i na kontaminovanej pôde sa dosiahla vysoká úroveň produkcie digesčného cukru, ktorá v prípade kontaminovanej pôdy predstavovala 11,9 t digesčného cukru z hektára.

V termíne sejby kukurice na siláž (19. júla 2000) sa koncentrácia ropnej látky v ornici kontaminovanej pôdy pohybovala od 0,15 do 0,24 %. Medzi kukuricou pestovanou na kontaminovanej a nekontaminovanej pôde nebol počas celej vegetačnej doby viditeľný rozdiel. Úrody silážnej kukurice pestovanej na kontaminovanej pôde boli v priemere o 16 % nižšie v porovnaní s úrodami kukurice dosiahnutými na pôde nekontaminovanej s naftou

### **Vyhodnotenie pokusu uhľovodíkovej kontaminácie pôdy motorovou naftou na pestovanie plodín**

Uhľovodíková kontaminácia motorovou naftou bola hodnotená ako celkový obsah nepolárnych extrahovateľných látok (NEL). Vo vzorkách pôdy stanovená uhľovodíková kontaminácia ako obsah NEL môže byť nielen ropného ale aj biogénneho pôvodu a nami použitou metódou ich nebolo možné rozlíšiť. Preto naše sledovanie biodegradácie nafty v pôde stanovením NEL mohlo priniesť, hlavne s pribúdajúcou dobou degradácie, nepresnosti spôsobené zvyšujúcimi sa interferenciami látok zamieňanými za uhľovodíky. Ide hlavne o niektoré frakcie organickej

pôdnej zložky (humus, resp. humínové kyseliny) a vznikajúce prekurzory humusu tzv. tranzien-ty biodegradácie, ktoré majú podobné vlastnosti ako humus alebo humínové kyseliny. V dôsledku uvádzaných interferencií pri stanovení uhľovodíkovej kontaminácie nebolo možné určiť hraničnú koncentráciu ropnej látky v pôde, od ktorej by bolo možné dať súhlas k jej využívaniu pre poľnohospodárske účely. Rozhodnutie bolo možné len odhadnúť na základe kvantity a kvality produkcie pestovanej plodiny po porovnaní s úrodami a ich kvalitou dosiahnutými na nekontaminovaných parcelkách. U cukrovej repy zasiatej do pôdy po dvoch rokoch od kontaminácie pôdy naftou sa neprejavovali už žiadne negatívne účinky kontaminácie počas celej vegetačnej doby napriek tomu, že koncentrácia NEL v ornici dosahovala 0,16 až 0,21 %, čo v prepočte predstavuje 1600 až 2100 mg NEL. kg<sup>-1</sup>. Pritom úrody cukrovej repy dosiahli vysokú úroveň, korene repy boli z fyziologického i morfológického hľadiska plne vyhovujúce pre spracovanie v cukrovare a technologická akosť cukrovej repy bola zrovnateľná s technologickou akosťou repy vypestovanou na nekontaminovanej pôde.

## ZÁVER

Spoločenstvo pôdnych mikroorganizmov je schopné reagovať na prítomnosť nafty v pôde. Agrotechnickými opatreniami (kyprením, zavlažovaním a hnojením) je možné vytvoriť vhodné podmienky pre ich činnosť. K najvýraznejšiemu odbúraniu nafty v ornici došlo z kontaminovanej pôdy vyhnojenej maštalným hnojom.

Pri znečistení pôdy motorovou naftou dávkou 10 mm je nevyhnutné nevyužívať kontaminovanú pôdu pre poľnohospodárske účely na obdobie najmenej dvoch rokov, v priebehu ktorých sa účinne vykoná rekultivácia postihnutej pôdy.

## LITERATÚRA

- ESZÉNYIOVÁ, A. *Asanácia pôdy znečistenej ropnými látkami biologickou cestou*. In Ropa a uhlie, 37, 1995, č. 1, s. 62-66.  
LHOTSKÝ, R. – KORANDA, K. *Biodegradace organických kontaminantů. Principy, možnosti a omezení*. In Odpady, 1997, č. 2, s. 11-14.
-

# INTERPOLÁCIA METEOROLOGICKÝCH ÚDAJOV PRE POTREBY MONITORINGU STAVU, VÝVOJA A ODHADU ÚROD POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PLODÍN

## WEATHER INTERPOLATION AS A BASELINE FOR CROP GROWTH MONITORING AND CROP YIELD FORECASTING

**Martina NOVÁKOVÁ**

*Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, Slovak republic, e-mail: novakova@vupu.sk*

### ABSTRACT

The weather and the climate are considered to be the agro-ecosystem components with significant influence on character and intensity of all processes related to crop growth and crop development. Therefore the spatial interpretation of weather data and weather monitoring represent main key processes which input to crop monitoring and consequent preliminary crop yield and crop production forecasting. The structure of Crop Growth Monitoring System (CGMS) and MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS) which has been developed by Joint Research Centre (JRC) in Ispra, is in compliance with the need to cover the area of weather assessment.

The submitted paper is oriented to analyze the process and principles of weather monitoring in CGMS with the aim to implement CGMS methodology related to weather data processing to Slovak conditions. The main part of the paper attends to explain the process of the national weather database building-up, to describe national weather data spatial interpolation based on the methodology which has been implemented in CGMS and to represent interpolation results within 10 km grid (at national level) and into 5 m grid (at regional level).

**KEYWORDS:** CGMS, SK\_CGMS, weather monitoring, weather data, interpolation, regular grid 10 km, grid 5 km

### ABSTRAKT

Počasie a klíma sú považované za komponenty agroekosystému s výrazným vplyvom na rast a vývoj biomasy. Monitoring a priestorová interpretácia vývoja počasia je preto nevyhnutným predpokladom pre proces monitorovania stavu a vývoja poľnohospodárskych plodín

---

a následne pre proces odhadovania ich úrody a produkcie. Myšlienka monitorovania počasia je implementovaná v európskom Systéme pre monitoring poľnohospodárskych plodín (CGMS) a v Systéme pre predpovedanie úrod poľnohospodárskych plodín (MCYFS), vyvinutými Spoločným Výskumným strediskom EK (JRC) v Ispre.

Predložený príspevok sa venuje problematike interpolácie meteorologických a klimatických údajov v podmienkach SR, pričom prezentovaný spôsob priestorovej interpolácie meteorologických údajov vychádza práve z metodiky pre tieto účely implementovanej v rámci existujúceho európskeho systému odhadu úrod. V príspevku je analyzovaný algoritmus interpolácie, tvorby príslušnej databázy, ako aj výslednej priestorovej prezentácie a interpretácie interpolovaných národných meteorologických údajov v rámci gridovej siete s priestorovým rozlíšením 10 km (pre národnú úroveň) a 5 km (pre regionálnu úroveň).

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** CGMS, SK\_CGMS, monitoring počasia, meteorologické údaje, interpolácia, pravidelná gridová sieť s priestorovým rozlíšením 10 km a 5 km

## ÚVOD

Počasia a klíma v zmysle geosystémového prístupu k chápaniu krajiny (KRCHO, 1990), predstavujú primárny zdroj dynamiky systému (MIČIAN & ZATKALÍK, 1986) poľnohospodárskej krajiny ako celku, tak ako aj jej jednotlivých zložiek. Na vývoj a zmenu počasia, ktorá sa následne odráža v charaktere pôdnej vlhkosti a dostupnosti vody, citlivo reaguje biomasa. Monitoring a interpretácia vývoja počasia je preto nevyhnutným predpokladom pre proces monitorovania stavu a vývoja porastov poľnohospodárskych plodín a následne pre proces odhadovania (predpovedania) úrody a produkcie plodín priebežne počas vegetačného obdobia, resp. tesne pred ich zberom.

Myšlienka monitorovania počasia (stavu a vývoja) je implementovaná v Systéme pre monitoring poľnohospodárskych plodín (Crop Growth Monitoring System – CGMS) a v Systéme pre predpovedanie úrod poľnohospodárskych plodín (MARS Crop Yield Forecasting System – MCYFS) (MICALE & GENOVESE, 2004; LAZAR & GENOVESE, 2004; ROYER & GENOVESE, 2004; GENOVESE & BETTIO, 2004). Systémy boli vyvinuté Spoločným Výskumným Centrom (JRC) EU (Ispra, Taliansko). Výstupy sú prezentované na úrovni administratívnych a štatistických priestorových jednotiek EU v rámci gridovej siete s priestorovým rozlíšením 50x50km (viac na web-stránke <http://mars.jrc.it/marsstat/default.htm>).

Monitoring počasia (ako samostatný subsystém v rámci systému CGMS) pozostáva z viacerých, vzájomne prepojených čiastkových procesov – procesu zberu a prvotného spracovania meteorologických údajov, procesu priestorovej interpolácie a interpretácie meteorologických údajov v rámci pravidelnej klimatickej gridovej siete a procesu interpretácie meteorologických a klimatických indikátorov vo vzťahu k stavu porastov poľnohospodárskych plodín (BOOGAARD ET AL, 2002). Výstupy monitoringu počasia sa následne využívajú pre potreby fungovania varovného systému – výskytu extrémnych poveternostných situácií z hľadiska vývoja poľnohospodárskych plodín (biomasy) a zároveň, ako údajové vstupy o priebehu počasia pre potreby



biofyzikálneho modelovania v prostredí modelu WOFOST (SUPIT ET AL, 1993, BOOGAART AT AL, 1998, SUPIT & GOOT 2003).

Potreba pravidelného a efektívneho spracovávanía a poskytovania meteorologických údajov, vyvoláva požiadavku implementácie metodiky a softvéru CGMS do existujúceho, národného systému pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín (NOVÁKOVÁ & SCHOLTZ, 2004, NOVÁKOVÁ, 2005). Implementácia metodiky CGMS by čiastočne automatizovala existujúci národný systém, a zároveň by vytvorila platformu kompatibilných predpovedí.

Príspevok sa venuje problematike interpolácie meteorologických a klimatických údajov pre potreby monitorovania stavu a vývoja biomasy (resp. porastov poľnohospodárskych plodín) a následného odhadu ich úrod a produkcie v rámci SR. Navrhnutý spôsob priestorovej interpolácie meteorologických údajov vychádza z metodiky pre tieto účely implementovanej v rámci existujúceho európskeho systému odhadu úrod (CGMS a MCYFS), pričom v príspevku je analyzovaný algoritmus interpolácie, tvorby príslušnej databázy, ako aj výslednej priestorovej prezentácie a interpretácie interpolovaných meteorologických údajov.

## MATERIÁL A METÓDY

### Princíp interpolácie meteorologických údajov v rámci CGMS

Princíp interpolácie meteorologických údajov v rámci CGMS vo všeobecnosti spočíva v priestorovej interpretácii meteorologických údajov prislúchajúcich centroidom klimatickej gridovej siete s priestorovým rozlíšením 50x50 km (v rámci európskeho kontinentu tvorená 5625 gridovými bunkami). Veľkosť gridovej bunky je podmienená predpokladom, na základe ktorého je počasie v rámci 50x50 km bunky gridu považované za homogénne a k jeho výraznejším zmenám dochádza pri uvažovaní vzdialeností nad 50 až 150 km, t.j. mimo uvažovanej bunky.

Prvá časť samotnej interpolácie meteorologických údajov v systéme CGMS spočíva vo výbere vhodných meteorologických staníc pre centroid každej gridovej bunky. Do procesu interpolácie vstupujú meteorologické stanice nachádzajúce sa v okruhu 250 km (polomer) od každého centroidu. Zo staníc v definovanom priestore, sa algoritmom skórovania vyberú tie najpodobnejšie. Podobnosť meteorologickej stanice a centroidu bunky gridu (parameter skóre, vo vzťahu 1 označený ako parameter score) je stanovená podľa vzťahu (SUPIT ET AL, 1994, VOET ET AL, 1994, VAN DER GOOT, 1998), pričom platí, čím vyššie skóre – tým je stanica menej podobná centroidu bunky gridu, a naopak:

$$\text{Score} = \text{dist} + \Delta_{\text{alt}} \times W_{\text{alt}} + \Delta d\text{CST}_{\text{corr}} + \text{Clblnc} \quad (1)$$

v ktorom Score zodpovedá číslu vyjadrujúcemu podobnosť meteorologickej stanice a centroidu bunky gridu (km); dist je vzdialenosť medzi meteorologickou stanicou a centroidom bunky gridu (km);  $\Delta_{\text{alt}}$  zodpovedá absolútnej hodnote rozdielu medzi nadmorskou výš-

kou meteorologickej stanice a priemernou nadmorskou výškou hodnotenej bunky gridu (m);  $W_{alt}$  je vážený koeficient pre  $\Delta_{alt}$  (zodpovedá hodnote 0,5 km/m);  $\Delta dCst_{corr}$  zodpovedá rozdielu medzi reálnou a upravenou vzdialenosťou k pobrežiu (km); a  $ClbInc$  je prítomnosť, resp. neprítomnosť klimatickej bariéry (pohorie typu Alp) v bunke gridu (km).

Druhá časť procesu interpolácie meteorologických údajov v systéme CGMS spočíva v procese vlastnej interpolácie údajov. Pre centroid každej bunky gridu, v interpretačnom význame pre každú bunku gridu, sa v závislosti od interpolovaného parametra, berú do úvahy 1 až 4 stanice z okruhu 250 km.

Pri interpolácii zrážok, sa pre bunku rastra berie za smerodajný údaj z najpodobnejšej meteorologickej stanice (zo stanice s najnižším skóre), t.j. hodnota úhrnu zrážok predstavuje reálne nameranú hodnotu.

Pri interpolácii ostatných meteorologických parametrov (extrémne denné teploty, rýchlosť vetra, tlak vodný pár, radiácia a evapotranspirácia) sa zo skupiny 1 až 4 staníc vyberie stanica, resp. kombinácia 1-4 meteorologických staníc, ktorú charakterizuje najnižšie skóre v skupine staníc (vo vzťahu 2 vyjadrené ako parameter setscore). Skóre v skupine staníc sa stanovuje pre všetky kombinácie vybraných 1-4 staníc vzhľadom ku každému centroidu bunky gridovej siete (SUPIT ET AL, 1994, VOET ET AL, 1994, VAN DER GOOT, 1998):

$$\text{SetScore} = \text{distavg} + \text{Daltavg} \times W_{alt} + \text{DdCstcorravg} + \text{DCG} + \text{FnS} \times \text{Scoremin} \quad (2)$$

kde SetScore je číslo (hodnota) vyjadrujúca podobnosť meteorologickej stanice (alebo ich kombinácie) a centroidu bunky gridu (km); distavg zodpovedá priemernej vzdialenosti medzi meteorologickou stanicou (stanicami) a centroidom bunky gridu (km); Daltavg je priemerný rozdiel medzi nadmorskou výškou centroidu bunky gridu a meteorologickou stanicou (stanicami) (m);  $W_{alt}$  zodpovedá váženému koeficientu pre  $\Delta Dalt$  (zodpovedá hodnote 0,5 km/m); DdCstcorr je priemerný rozdiel medzi reálnymi a upravenými vzdialenosťami k pobrežiu (km); DCG predstavuje vzdialenosť medzi centroidom bunky gridu a gravitačným centrom hodnotených meteorologických staníc (km); FnS je daný počtom staníc v skupine (-); a Scoremin zodpovedá minimálnemu skóre v skupine staníc (km).

Po výbere vhodnej meteorologickej stanice, resp. kombinácie staníc sa meteorologické údaje interpolujú jednoduchým spôsobom – aritmetickým priemerom. Pre centroid bunky gridu, v interpretačnom význame pre celú bunku gridu, sa berie do úvahy aritmetický priemer údajov z kombinácie staníc s najnižším skóre; v prípade maximálnej a minimálnej teploty, ako aj v prípade tlaku vodných pár, predchádza aritmetickému priemerovaniu korekcia údajov vzhľadom na referenčnú nadmorskú výšku centroidu bunky rastra (koeficient  $-0,006 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$  v prípade teplôt a  $-0,00025\text{hPa}\cdot\text{m}^{-1}$  v prípade tlaku vodných pár).

### **Aplikovaná metodika CGMS – modifikácie v rámci SK\_CGMS**

Budovanie aplikácie (systému) SK\_CGMS vychádzalo zo všeobecných princípov uplatnených v rámci európskeho systému CGMS, ktoré boli po miernej modifikácii implementované na pomery SR.

Subsystém monitorovania počasia v rámci CGMS (ako aj systém CGMS ako celok) predstavuje nástroj, ktorý plní funkciu výkonnú (realizácia výpočtov pre interpoláciu na základe implementovaných algoritmov), ako aj funkciu databázovú, ktorá spočíva v možnosti organizácie, ukladania a spravovania vstupných meteorologických údajov, medziproduktov (doplnkové výpočty), výstupných meteorologických údajov a zároveň údajov pomocných potrebných pre samotný proces interpolácie (definovanie priestorového rámca pre proces interpolácie a interpretácie interpolovaných meteorologických údajov). Modifikácia princípov CGMS (databázovej a výkonnej funkcie systému SK\_CGMS) bola uplatnená len do tej miery, ktorú podmienil a spôsobil vstup národných meteorologických údajov a s ním súvisiaca zmena priestorového rozlíšenia (úroveň detailu) samotného procesu interpolácie meteorologických údajov.

V rámci budovania systému SK\_CGMS bol využitý softvér – databázová aplikácia CGMS 8.0., poskytnutá JRC Ispra.

Pozorovania a zber meteorologických údajov v rámci siete meteorologických staníc v SR a ich následnú distribúciu zabezpečuje SHMÚ. Z hľadiska tvorby databázy meteorologických údajov pre budovanie systému SK\_CGMS bola analyzovaná sieť meteorologických staníc. Meteorologické stanice boli analyzované z hľadiska možností pravidelného poskytovania požadovaných meteorologických údajov (trvanie slnečného svitu, maximálna a minimálna denná teplota vzduchu, tlak vodných pár, priemerná rýchlosť vetra, denný úhrn zrážok) v približne reálnom čase a z hľadiska ich lokalizácie (požiadavka reprezentatívnosti pre poľnohospodársku krajinu). Zároveň bola analyzovaná možnosť využitia údajov zo siete zrážkomerných staníc v rámci SR (dostupnosť údajov, priestorová distribúcia zrážkomerných staníc).

Po získaní a prvotnom spracovaní meteorologických údajov (kontrola kvality a kvantity) bola, na základe štruktúry databázy CGMS, vybudovaná databáza vstupných meteorologických údajov systému SK\_CGMS. Pred samotným procesom interpolácie meteorologických údajov boli v aplikácii SK\_CGMS realizované doplnkové výpočty (výpočet radiácie a evapotranspirácie implementovanými algoritmi – SUPIT ET AL, 1994). Mierne modifikovaný bol samotný algoritmus interpolácie meteorologických parametrov. Dostatočné pokrytie územia SR meteorologickými stanicami umožnilo znížiť okruh (polomer) pre stanovenie a výber staníc vstupujúcich do procesu interpolácie pre centroid každej bunky gridu (z 250 km v CGMS na 100 km v rámci SK\_CGMS); pri interpolácii sa nebral sa do úvahy vplyv vzdialenosti od pobrežia (reálna vzdialenosť presahuje 200km); uvažovaný nebol ani vplyv klimatických bariér – všetky meteorologické stanice sú lokalizované v rámci poľnohospodársky využívanej krajiny mimo výrazných horských celkov.

Dostatočné pokrytie územia SR meteorologickými stanicami umožnilo modifikovať aj možnosť priestorovej reprezentácie meteorologických údajov v rámci SK\_CGMS. Pre potreby procesu interpolácie a následne interpretácie výsledkov interpolácie bola definovaná gri-

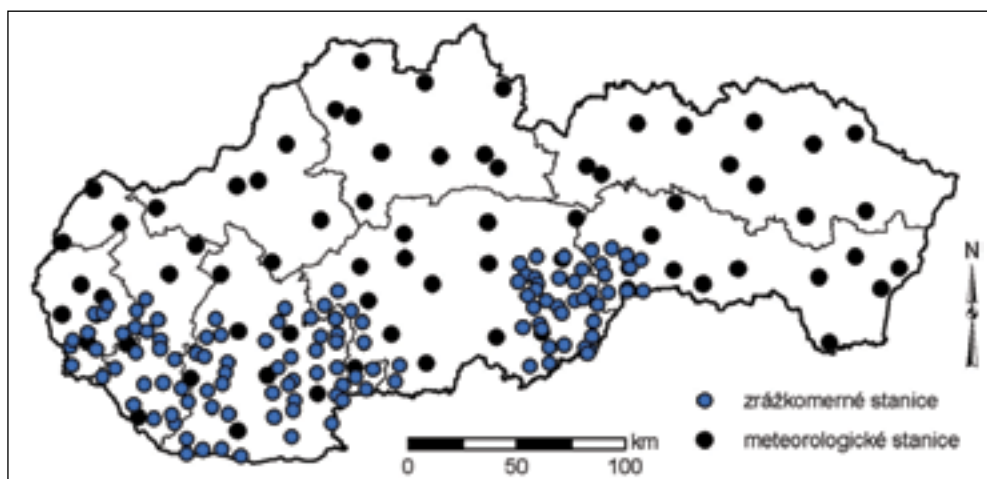
dová sieť s detailnejším priestorovým rozlíšením (10x10 km), v prípade využitia údajov aj zo zrážkomerných staníc gridová sieť s priestorovým rozlíšením 5x5 km. Pri tvorbe hierarchických gridových sietí boli využité INSPIRE princípy, t.j. princípy harmonizovanej organizácie, prezentácie a komunikácie priestorových údajov (The INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe, <http://www.ec-gis.org/inspire>);

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Výber meteorologických staníc a meteorologické údaje v rámci SK\_CGMS

Ako vstup pre proces interpolácie meteorologických údajov v systéme SK\_CGMS slúži 71 meteorologických staníc (obr. 1). V databáze SK\_CGMS sú zahrnuté meteorologické údaje (denné hodnoty trvania slnečného svitu, maximálna a minimálna denná teplota, tlak vodných pár, rýchlosť vetra a úhrn zrážok) v časovom horizonte od 1. 1. 1989.

Potenciál využitia údajov zo zrážkomerných staníc (denné úhrny zrážok) v rámci SK\_CGMS spočíva v možnosti zabezpečenia priestorovo detailnejších vstupných údajov, pričom však sú poskytované s určitým časovým posunom (cca 2-3 mesiace), zapríčineným spracovávaním a kontrolou údajov. Z tohto dôvodu sú údaje zo zrážkomerných staníc využiteľné predovšetkým pre potreby spätných regionálnych analýz. Do SK\_CGMS boli zahrnuté tieto údaje len z vybraných regiónov SK, konkrétne zo Žitného ostrova, z okresu Levice a okolia a z regiónu južnej časti okresov Rimavská Sobota, Revúca a Rožňava (obr.1). Podobne, ako pri meteorologických údajoch, sú v SK\_CGMS zahrnuté údaje zo zrážkomerných staníc v časovom horizonte od 1. 1. 1989.

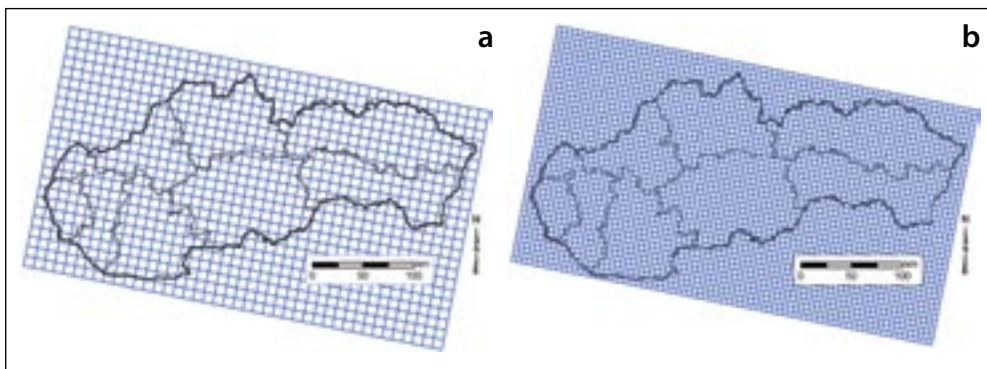


Obr. 1 Lokalizácia meteorologických a zrážkomerných staníc v rámci SK\_CGMS.

### Klimatický grid – priestorový aspekt interpolácie meteorologických údajov

Klimatický grid (gridová sieť) predstavuje a definuje priestorový rámec pre proces interpolácie meteorologických údajov a zároveň pre možnosť prezentácie interpolovaných meteorologických údajov. Pri konštrukcii gridových sietí (klimatického gridu) bola uplatnená požiadavka hierarchického usporiadania – vzájomnej hierarchickej priestorovej nadväznosti gridových sietí (priestorová kompatibilita), a to ako na národnej úrovni, tak aj v rámci európskych údajových infraštruktúr.

Ako referenčný bol zvolený INSPIRE grid s priestorovým rozlíšením 10x10km (v Lambert-azimutálnom zobrazení). Prostredníctvom identifikátora bol definovaný vzťah (vzájomné priestorové prepojenie) medzi gridom s priestorovým rozlíšením 10x10km a 50x50km, ktorý je využívaný v rámci európskeho CGMS. Gridová sieť s priestorovým rozlíšením 5x5km bola odvodená z 10 km gridu. Následná transformácia definovaných gridových sietí do zobrazovacieho systému SJTSK (národný systém – obr. 2a a 2b) umožnila bezproblémové spracovávanie národných meteorologických údajov. Pri transformácii zobrazovacích systémov ostal zachovaný definovaný identifikátor, ktorý zabezpečuje komunikáciu medzi národnými údajmi a možnosťou ich prezentácie v gridovej sieti INSPIRE.



Obr. 2 Klimatická gridová sieť s priestorovým rozlíšením 10x10km (2a) a 5x5km (2b).

### Databáza meteorologických údajov (v rámci SK\_CGMS)

Databáza subsystému monitoringu počasia (databáza meteorologických údajov) vytvorená v systéme SK\_CGMS zabezpečuje funkciu údajového skladu a archívu pre meteorologické údaje z jednotlivých meteorologických staníc (t.j. pre vstupné údaje procesu interpolácie), pre interpolované meteorologické údaje (t.j. pre výstupné údaje z procesu interpolácie), pre pomocné údaje (pomocné z hľadiska definovania priestorového rámca procesu interpolácie a z hľadiska doplnkových výpočtov v rámci algoritmu interpolácie) a údajov – medziproduktov procesu interpolácie. Štruktúra databázy s príslušnými samostatnými tabuľkami je prezentovaná v tab.1.

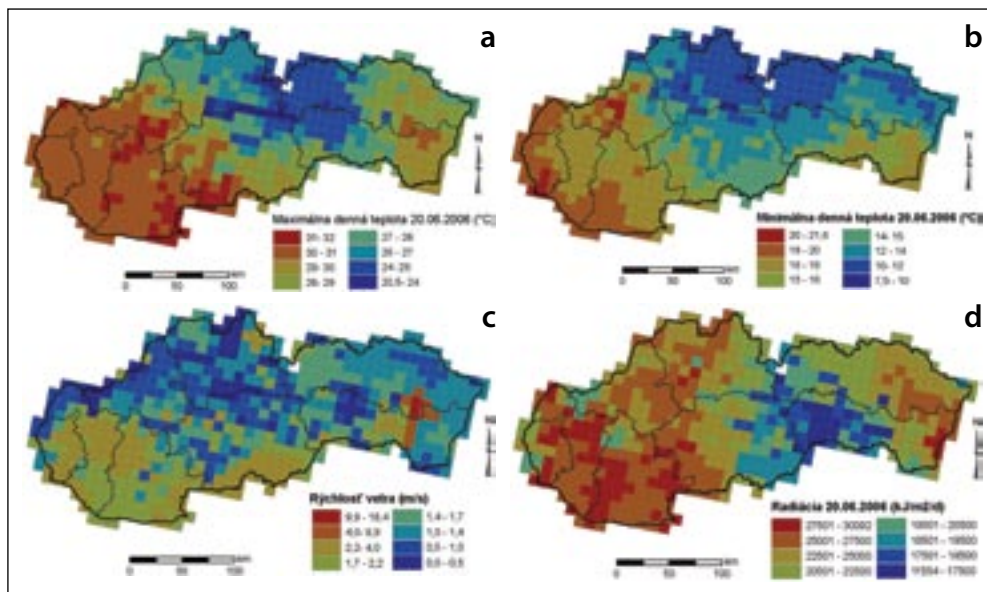
Zároveň vytvorená databáza meteorologických údajov predstavuje požadovaný vstup pre biofyzikálne modelovanie v prostredí modelu WOFOST (implementovaný v systéme CGMS, teda aj v systéme SK\_CGMS).

**Tab. 1.** Štruktúra databázy meteorologických údajov v rámci SK\_CGMS

Názov tabuľky	Charakter údajov	Detailnejší opis údajov
Weather Station	Pomocné	Identifikácia meteorologických staníc, základné údaje o lokalizácii staníc
Metadata	Vstupné	Meteorologické údaje - denné hodnoty sledovaných meteorologických parametrov zaznamenané od 1. 1. 1989
Supit Reference Stations	Pomocné	Údaje o regresných konštantách pre jednotlivé meteorologické stanice (pre výpočet radiácie a evapotranspirácie)
Calculated Weather	Medziprodukt vstupné	Výsledky dopočítaných meteorologických parametrov (radiácia, evapotranspirácia)
Reference weather	Vstupné	Meteorologické údaje - hodnoty dlhodobých denných priemerov vybraných meteorologických parametrov (1975-2004, 1989-2006)
Grid	Pomocné	Údaje o definovanej gridovej sieti s priestorovým rozlíšením 10x10km, resp. 5x5km
Station pre grid	Medziprodukt	Výsledky analýzy „skórovania“ – údaje o priradení meteorologických staníc každej bunke gridovej siete
Grid Weather	Výstupné	Výsledky interpolácie meteorologických údajov – podklady pre vizualizáciu interpolovaných povrchov

### Interpolované meteorologické údaje – vybrané ukážky

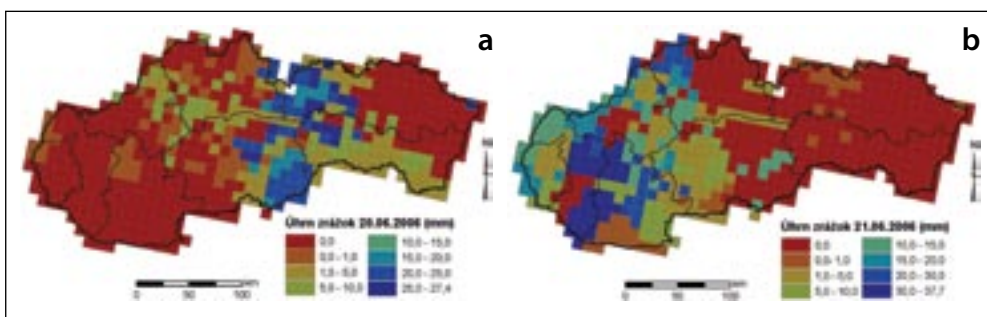
Výsledky interpolácie meteorologických údajov z meteorologických staníc pre celé územia SR (národná úroveň), sú prezentované prostredníctvom gridovej siete s priestorovým rozlíšením 10x10km (obr.3, 4, 5); výsledky interpolácie meteorologických údajov z meteorologických a zrážkomerných staníc pre vybrané regióny SR (regionálna úroveň), sú prezentované prostredníctvom gridovej siete s priestorovým rozlíšením 5x5km (obr. 6).



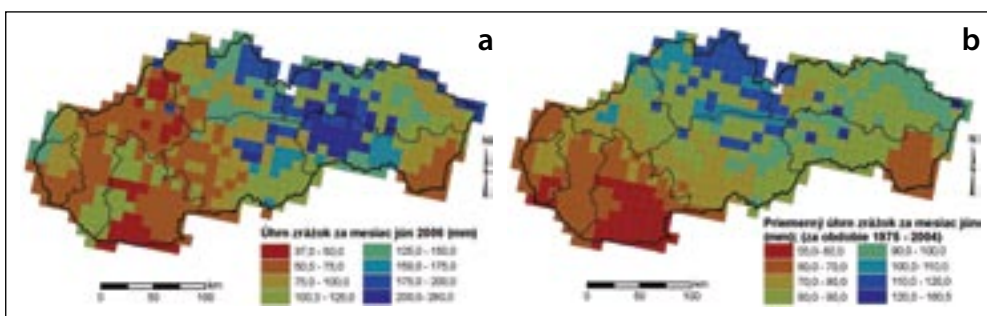
Obr. 3 Interpolované povrchy: maximálna denná teplota (3a); minimálna denná teplota (3b); priemerná rýchlosť vetra (3c) a radiácia (3d) z 20. 6. 2006.

Výsledky interpolácie meteorologických údajov, t.j. interpolované povrchy jednotlivých meteorologických parametrov, umožňujú v priestorovom a v časovom kontexte charakterizovať a analyzovať *stav počasia* (vždy k určitému termínu, obr. 3a, 3b), prípadne za určité obdobie – prostredníctvom kumulatívnych hodnôt sledovaných meteorologických parametrov – obr.5a a 5b), *priebeh počasia* v určitom období (stavy počasia v po sebe nasledujúcich časových horizontoch – obr. 4a a 4b) a zároveň umožňujú *porovnávať charakter počasia* (za identické obdobia viacerých rokov, alebo s dlhodobým priemerným počasím, obr.5a a 5b).

Možnosť pravidelnej priebežnej analýzy stavu počasia, priebehu počasia, spolu s možnosťou porovnávania charakteru počasia v rámci vybraných časových horizontov prostredníctvom výstupov zo systému SK\_CGMS, sú predpokladom pre *monitoring počasia*.



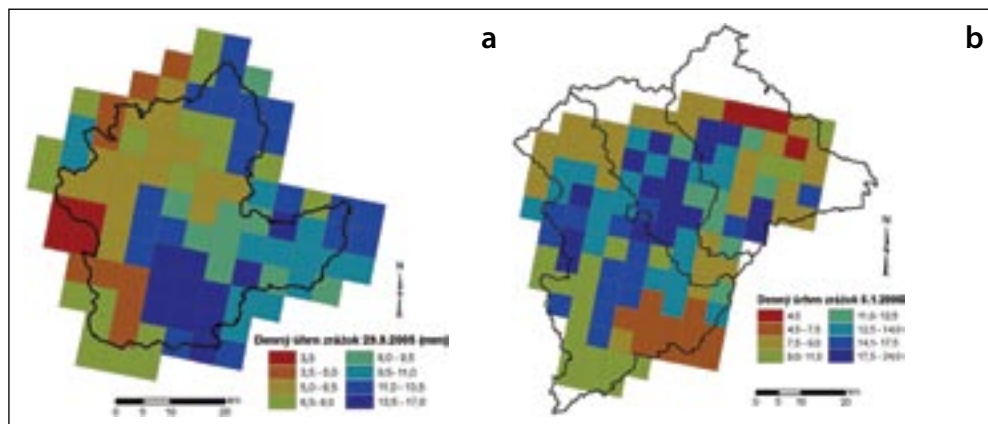
Obr. 4 Interpolované povrchy: denný úhrn zrážok z 20. 6. (4a) a z 21. 6. 2006 (4b).



Obr.5 Interpolované povrchy: mesačný úhrn zrážok (jún 2006) (5a) a dlhodobý priemerný mesačný úhrn zrážok (za jún) za obdobie 1975-004 (5b)

Z pohľadu využitia výsledkov interpolácie meteorologických údajov a monitoringu počasia pre hodnotenie vplyvu počasia na stav porastov poľnohospodárskych plodín, umožňujú interpolované povrchy interpretovať charakter počasia vzhľadom na výskyt extrémnych poveternostných situácií (nedostatok zrážok, sucho, extrémne teploty, prízemné mrazy) a pravdepodobnosť následného poškodenia porastov poľnohospodárskych plodín.





Obr. 6 Interpolované povrchy: denný úhrn zrážok v regióne Levice (6a) a v regióne južnej časti okresov Rimavská Sobota, Rožňava a Revúca (6b).

## ZÁVER

Ako výsledok implementácie metodiky CGMS, resp. metodiky subsystému monitoringu počasia pre podmienky SR, bol (na báze národných meteorologických údajov) vytvorený systém SK\_CGMS.

V procese tvorby systému SK\_CGMS boli zabezpečené podmienky (údajové vstupy) pre realizáciu interpolácie meteorologických údajov v rámci vytvoreného klimatického gridu – gridovej siete s priestorovým rozlíšením 10x10km a 5x5km. Zároveň bola vytvorená databáza meteorologických údajov s možnosťou archivovania údajov z meteorologických staníc, ako aj výsledkov interpolácie - interpolovaných povrchov denných hodnôt meteorologických parametrov.

Vytvorená databáza meteorologických údajov systému SK\_CGMS umožňuje, v priestorovom a v časovom kontexte, analyzovať stav počasia, priebeh počasia v určitom období a zároveň umožňuje porovnávať charakteru počasia v rôznych obdobiach. Zabezpečuje tak podmienky pre monitoring počasia z hľadiska potrieb analýzy stavu a vývoja porastov poľnohospodárskych plodín.

Zároveň databáza meteorologických údajov predstavuje vstupnú a nevyhnutnú údajovú vrstvu pre proces biofyziálneho modelovania (modelov WOFOST), algoritmus ktorého je priamo implementovaný v systéme CGMS (a SK\_CGMS).

Priestorová interpolácia meteorologických údajov, spolu s vytvorenou databázou meteorologických údajov v prostredí systému SK\_CGMS, predstavujú výsledky prvej (prípravnej) fázy modifikácie doteraz využívanej metodiky v Systéme pre odhad úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín v rámci SR (prechod od bodového k priestorovému gridovému biofyziálnemu modelovaniu), ktoré môžu do značnej miery prispieť k spresneniu predpovedí úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín pre podmienky SR.



## LITERATÚRA

- BOOGAARD, H.L., EERENS, H., SUPIT, I., VAN DIEPEN, C.A., PICCARD, I., KEMPENEERS, P. 2002. *Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS)*. METAMP-report 1/3, Alterra and VITO, JRC-contract 19226-2002-02-F1FED ISP NL. 179 pp.
- GOOT, E. VAN DER 1998. *Spatial interpolation of daily meteorological data for the Crop Growth Monitoring System (CGMS)*. In m. Bindi, B. Gozzini (eds). Proceedings of seminar on data spatial distribution in meteorology and climatology, 28 September – 3 October 1997, Volterra, Italy. EUR18472 EN.
- GENOVESE, G., BETTIO, m. 2004. *Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol. 4 Statistical data collection. processing and analysis*. Luxembourg: Office for Official Publications of the EU. 94 pp.
- INSPIRE DIRECTIVE [online]. European Communities, c1995-2007 [cit. 2007-08-14]. Dostupné na internete: <http://www.ec-gis.org/inspire>
- JRC-MARS STAT [online]. JRC Ispra, posledná aktualizácia:13.08.2007 [cit. 2007-08-14]. Dostupné na internete: <http://mars.jrc.it/marsstat/default.htm>
- KRCHO, J. 1990. *Morfometrická analýza a digitálne modely reliéfu*. Bratislava: Veda. 427 s. ISBN 80-224-0018-1
- LAZAR, C., GENOVESE, G. 2004. *Methodology of the MARS crop yield forecasting system. Vol. 2: Agro-meteorological data collection. Processing and analysis*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 98 pp.
- MICALE, F., GENOVESE, G. 2004. *Methodology of the MARS crop yield forecasting system. Vol. 1: Meteorological data collection. Processing and analysis*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 100 pp.
- MIČIAN, L., ZATKALÍK, F. 1986. *Náuka o krajine a starostlivosť o životné prostredie*. Skriptum. Bratislava: PRIF UK. 137 s.
- NOVÁKOVÁ, M. 2005. *WOFOST based crop yield and production forecasting system on Soil Science and Conservation Research Institute*. In Vedecké práce VÚPOP Bratislava 27. Bratislava: VÚPOP, 67-78
- ROYER, A., GENOVESE, G. 2004. *Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol. 3 Remote sensing information. data processing and analysis*. Luxembourg: Office for Official Publications of the EU. 82 pp.
- SCHOLTZ, P., NOVÁKOVÁ, M. 2004. *Crop Yield Prediction in Year 2003*. In Vedecké práce VÚPOP Bratislava 26. Bratislava: VÚPOP, s. 193-199.
- SUPIT, I., HOOIJER, A. A., VAN DIEPEN, C.A. 1994. *System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms*. Luxembourg: Office for Official Publications of the EC. 146 pp. EUR Publication N° 15959 EN
- SUPIT, I., VAN DER GOOT, E. 2003. *Updated system description of the WOFOST crop growth simulation model as implemented in the crop growth monitoring system applied by European Commission. Treebook 7*. Heelsum: Treemail Publishers. 120 p. ISBN 90-804443-8-3
- VOET, P. VAN DER, DIEPEN, C.A. VAN, OUDE VOSHAAR, J. (1994). *Spatial interpolation of meteorological data. A knowledge based procedure for the region of the European Communities*. SC-DLO, Report 53.3. Wageningen: DLO Winand Staring Centre. 35 pp.
-

# ROZDIELNE PRÍSTUPY K MODELOVANIU PÔDNEJ VLNKOSTI (NA PRÍKLADE MODELOV WOFOST A SWAP)

## DIFFERENT APPROACHES TO SOIL MOISTURE MODELLING (ON WOFOST AND SWAP EXAMPLES)

**Martina NOVÁKOVÁ, Rastislav SKALSKÝ**

*Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, Bratislava, Slovak republic,  
e-mail: novakova@vupu.sk, skalsky@vupu.sk*

### ABSTRACT

Simulation models and available soil and landscape data application derived information on soil moisture and its spatial or temporal dynamics represents an alternative to directly measured data mostly in a cases if high-detailed spatial and temporal resolution of information is required for large spatial extents or time spans. A comparative analysis of two models (WOFOST, SWAP) is done to assess the potential of the models to be employed in soil moisture modeling system based on available national soil data. The principles of agro-ecosystem abstraction implemented in the models, the way a soil is formalized and soil input data requirements are analyzed as well as modeling outputs are briefly described and assessed in the article.

**KEYWORDS:** modeling of soil moisture, WOFOST, SWAP

### ABSTRAKT

Získavanie informácií o stavoch a časovo-priestorových zmenách vlhkosti pôdy prostredníctvom simulačných modelov a vhodných údajových vstupov o pôde a prostredí predstavuje určitú alternatívu priameho merania v prípade, že informácie je potrebné získavať vo vysokom časovom či priestorovom rozlíšení a rozsahu. Predkladaný článok sa venuje analýze možností a potenciálu využitia simulačných modelov WOFOST a SWAP v systéme modelovania vlhkosti pôdy na báze potenciálne dostupných údajov o poľnohospodárskej pôde Slovenska. Priestor je venovaný porovnaniu princípov implementovaných v modeloch; analýze a porovnaniu procesov formalizácie pôdy a analýze požadovaných údajových vstupov o pôde v kontexte oboch modelov, ako aj analýze a hodnoteniu potenciálnych výstupov.

**KĽÚČOVÉ SLOVÁ:** modelovanie vlhkosti pôdy, WOFOST, SWAP

---

## ÚVOD

Model vo všeobecnosti zodpovedá zjednodušenému zobrazeniu skutočnosti realizovanému pomocou účelovo definovaných znakov - vlastností reality, pričom platí, že uvažované vlastnosti musia byť do zvolenej miery podobné až identické pre reálne existujúci systém (objekt), tak ako aj pre jeho model (MITÁŠOVÁ A KOL. 1990). Pojem modelovanie predstavuje všeobecný termín, ktorý označuje aktivity spojené s tvorbou modelu reality, ako aj so samotnou aplikáciou modelu (vyjadreného formou nástroja) s cieľom získavania (odvodenia) požadovaných informácií o študovanom systéme.

Modelovanie predstavuje jednu z metód, prostredníctvom ktorej je možné odvodzovať údaje (a indikátory) charakterizujúce vlhkosť pomery v pôde a ich časovo – priestorové zmeny. Na rozdiel od časovo náročného experimentálneho merania vlhkosti pôdy v teréne, modelovanie umožňuje efektívne a racionálne zabezpečiť tieto údaje (aj keď s určitou neistotou – nepresnosťou), a to predovšetkým v prípade uvažovania detailnej priestorovej a časovej mierky.

Predkladaný článok sa venuje komparatívnej analýze možností a potenciálu modelov WOFOST a SWAP pre modelovanie vlhkosti pôdy. Priestor je venovaný porovnaniu princípov implementovaných v modeloch pre potreby simulácie aktuálnych vlhkosť pomeroch v pôde a dynamiky pôdnej vlhkosti; analýze a porovnaniu procesov formalizácie pôdy (pôdneho profilu) v kontexte oboch modelov; analýze požadovaných údajových vstupov o pôde a analýze potenciálnych výstupov – indikátorov pôdnej vlhkosti, prípadne s vlhkosťou pôdy úzko súvisiacich charakteristík. Cieľom príspevku nie je hodnotiť presnosť modelovaných a interpretovaných pôdnych vlhkostí s reálne nameranými hodnotami. Analýzy údajových vstupov a výstupov sú realizované na konkrétnom modelovom príklade – čiernice typickej karbonátovej z lokality Gabčíkovo, s porastom jačmeňa jarného v rokoch 2002-2005.

Problematika predkladanej analýzy modelov je riešená ako súčasť úlohy zameranej na vytvorenie systému modelovania vlhkosti pôdy na báze údajov o poľnohospodárskej pôde dostupných z existujúcich údajových báz (digitálna databáza výberových sond KPP, digitálna databáza pôdno-ekologických jednotiek, výstupy komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd). Účelom uvedeného systému modelovania vlhkosti pôdy by malo byť zabezpečenie obsahovo hodnotnej, geograficky vyjadrenej informácie o pôde.

## MATERIÁL A METÓDY

### Použité modely

WOFOST (SUPIT ET AL 1994, BOOGAARD ET AL 2002, SUPIT ET VAN DER GROOT, 2003,) je agrometeorologický, deterministický a dynamický model zameraný na modelovanie vývoja a tvorby biomasy poľnohospodárskych plodín počas vegetačného obdobia. Model je založený na predpoklade závislosti fenologického vývoja, rastu a tvorby úrody na vplyvoch prostredia (regionálne fyzickogeografické podmienky) a genetických a fyziologických vlastnostiach rastlín. Výsledkom

---

modelovania nie je detailný popis pohybu vody v pôde, zdôraznený je však aspekt zabezpečenia (alebo nedostatku) zásoby rastlinám prístupnej vody v koreňovej zóne pôd.

SWAP (VAN DAM 2000, KROES ET VAN DAM 2003) je agrohydrologický, deterministický, dynamický model, ktorý integruje viaceré koncepty a postupy modelovania pohybu vody, pohybu rozpustených látok, transportu tepla v pôde a modelovania vývoja biomasy (modul prebratý z modelu WOFOST).

Rozdiely medzi uvedenými modelmi spočívajú v rozdielnom aspekte modelovaných procesov (agrometeorologický a agrohydrologický aspekt fungovania agroekosystému). S touto skutočnosťou tiež súvisí požiadavka rôznej detailnosti popisu jednotlivých prvkov modelovaného systému.

### **Porovnávací analýza**

Porovnávací analýza modelov bola realizovaná prostredníctvom dvoch na seba úzko nadväzujúcich čiastkových analýz: a) štúdiá existujúcich publikovaných materiálov týkajúcich sa modelov (manuály, štúdie, články) a b) realizácie modelových simulácií (na konkrétnych reálnych príkladoch). Kým prvá časť porovnávej analýzy modelov spočívala v objasnení všeobecných princípov modelov (teoretické aspekty – implementovaný algoritmus zodpovedajúci vyjadreniu funkčného aspektu agroekosystému; proces formalizácie agroekosystému zodpovedajúci vyjadreniu jeho priestorového aspektu), druhá časť porovnávej analýzy – realizácia modelových simulácií, sa zamerala na prípravu konkrétnych údajových vstupov zodpovedajúcich danej modelovej situácii a samotné simulovanie s cieľom odvodenia charakteristík (a indikátorov) vlhkosťných pomerov v pôde, prostredníctvom ktorých je možné postihnúť a kvantitatívne vyjadriť priestorovú (vertikálnu a horizontálnu) variabilitu vlhkosti pôdy, ako aj jej dynamiku v čase.

### **Modelové simulácie**

Meteorologické údaje, konkrétne denný chod trvania slnečného svitu, minimálnej a maximálnej dennej teploty, priemernej rýchlosti vetra, tlaku vodných pár a úhrnu zrážok za stanicu Gabčíkovo, v období od 1. 1. 2002 do 31. 12. 2005, boli poskytnuté Slovenským Hydrometeorologickým Ústavom (SHMU) a následne upravené podľa požiadaviek modelov WOFOST a SWAP.

Použitá údaje o pôde boli získané z pôdneho profilu čiernice typickej karbonátovej lokalizovanej na ornej pôde v katastrálnom území mesta Gabčíkovo (monitorovacia lokalita MP9 Monitoringu vodného diela Gabčíkovo (FULAJTÁR A KOL. 1998). Pre potreby simulácií boli využité analyticky stanovené údaje o percentuálnom zastúpení jednotlivých zrnitostných frakcií pôdy, objemovej hmotnosti pôdy a hodnotách vybraných hydrolimitov (bod vädnutia a retenčná vodná kapacita) pre všetky identifikované genetické horizonty. Pre odvodenie požadovaných údajov o hydrofyzikálnych vlastnostiach pôd (retenčné a hydraulické vlastnosti pôdy), bol uvažovaný už existujúci postup opísaný v prácach ORFÁNUS A BALKOVIČ 2004 a NOVÁKOVÁ A SKALSKÝ 2006, pričom vzhľadom na niektoré špecifiká realizovaných simulácií bol uvedený postup mierne modifikovaný (reprezentatívna trieda zrnitosti pôdy stanovená na základe prevládajúcej zrn-

---

tostnej triedy v pôdnom profile, pre model SWAP boli požadované údaje vypočítané pre každý horizont zvlášť, ako údajové vstupy pre model Rosetta (SCHAAP ET BOUTEN 1996) boli využité experimentálne stanovené hydrolimity a objemová hmotnosť pôdy).

Ako plodina bol pre potreby simulácií zvolený jačmeň jarný. Požadované fyziologické a fenologické údaje o jačmeni jarnom boli prebraté ponuky oboch modelov, zadaný bol len dátum vzhádzania (12. apríl).

V prostredí modelu WOFOST bol pri modelovaní využitý modul vodou limitovaného vývoja biomasy (bez a s vplyvom podzemnej vody). V prostredí modelu SWAP bolo modelovanie pôdnej vlhkosti (a súčasne modelovanie vývoja biomasy) realizované za podmienky a) voľnej drenáže a vplyvu podzemnej vody v pôdnom profile pri hladine podzemnej vody 250 cm; b) voľnej drenáže a vplyvu podzemnej vody v pôdnom profile pri hladine podzemnej vody 500cm pod úrovňou terénu) a c) vstupu údajov o reálne nameranej hladine podzemnej vody.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

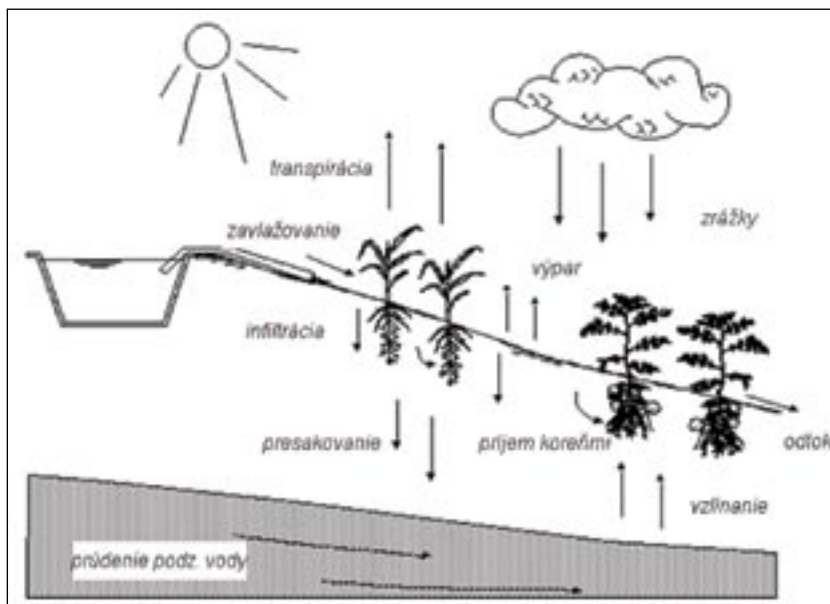
### Rozdielne princípy modelovania vlhkosti pôdy

Simulačné modely SWAP a WOFOST predstavujú softvérové aplikácie s implementovanými formalizovanými vyjadreniami časovo-priestorových funkčných vzťahov v agroekosystéme (procesy lákovej, energetickej a informačnej výmeny). Konkrétne charakteristiky uvažovaných prvkov agroekosystému (atmosféra – pôda – rastlina – voda – ľudská aktivita) a ich vzťahov sú jednoznačne dané spôsobom abstrakcie reality, prostredníctvom ktorej sú uvažovanými simulačnými modelmi modelované vzťahy v agroekosystéme.

Agroekosystém (obr. 1) je zvolenými modelmi vnímaný predovšetkým z aspektu vertikálneho usporiadania a vzťahov všetkých jeho uvažovaných prvkov v konkrétnom bode (resp. na tessere). Uvažovaním viacerých konkrétnych bodových reprezentácií rôznych typov agroekosystémov je potom potenciálne možné vyjadriť aj horizontálnu priestorovú štruktúru agroekosystému, vyžadovanú pri geograficky zameraných analýzach.

Z hľadiska princípu (a teoretického postupu) modelovania pôdnej vlhkosti predstavuje model WOFOST aplikáciu s implementovaným výpočtom zásoby vody v pôde (kapacitný – bilančný model), zatiaľ čo model SWAP patrí do skupiny fyzikálnych modelov s implementovanou Richardsonovou rovnicou pre stanovenie pôdnej vlhkosti pomocou vzťahu pre nenasýtené a nasýtené prúdenie (pohyb) vody v pôde.

Modelom WOFOST je vlhkosť pôdy počítaná v každom časovom kroku (1 deň) na základe bilančnej rovnice – bilancie vstupov (zrážky, infiltrácia, kapilárne vzlianie z hladiny podzemnej vody) a strát (povrchový odtok, výpar z povrchu pôdy, evapotranspirácia). Množstvo prístupnej vody pre rastliny však závisí, okrem vstupných parametrov bilančnej rovnice, aj od aktuálnej hrúbky koreňovej vrstvy v danom časovom kroku (funkcia rýchlosti rastu koreňov modelovanej plodiny). Substrátová zóna na modelovanie dynamiky pôdnej vody nemá priamy vplyv (voda obsiahnutá v tejto zóne nie je prístupná pre rastliny), ovplyvňuje iba mieru/rýchlosť straty nadbytočnej vody z vyššie ležiacej koreňovej zóny.



Obr. 1. Schematický náčrt študovaného (modelovaného) systému atmosféra – pôda – rastlina – voda a základných uvažovaných procesov (upravené podľa SWAP).

Aktuálny obsah pôdnej vody (pôdna vlhkosť) v koreňovej zóne je daný vzťahmi (DRIESSEN 1986):

$$\theta_t = \frac{IN_{up} + (IN_{low} - T_a)}{RD} \Delta t \quad (1a)$$

$$IN_{up} = P + I_e - E_s + SS_t / \Delta t - SR \quad (1b)$$

$$IN_{low} = CR - Perc \quad (1c)$$

kde  $\theta_t$  je stanovená objemová vlhkosť pôdy ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ),  $IN_{up}$  predstavuje intenzitu toku vody v rámci aktuálnej koreňovej zóny ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $IN_{low}$  je intenzita toku vody v rámci zóny medzi aktuálnou a maximálnou koreňovou zónou ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $T_a$  predstavuje intenzitu transpirácie ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $RD$  je aktuálna hĺbka koreňovej zóny ( $\text{cm}$ );  $P$  zodpovedá intenzite zrážok ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $I_e$  je intenzita závlah ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $E_s$  predstavuje intenzitu výparu z pôdy ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $SS_t$  je povrchová retencia ( $\text{cm}$ );  $SR$  intenzita povrchového odtoku ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $\Delta t$  zodpovedá časovému kroku (deň);  $CR$  je intenzita kapilárneho vzlíňania ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $Perc$  je intenzita perkolácie (odtok vody z koreňovej zóny do substrátovej zóny –  $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ ) a  $Z_t$  zodpovedá hĺbke hladiny podzemnej vody ( $\text{cm}$ ).

Jednotlivé zložky bilančnej rovnice, ktoré zodpovedajú čiastkovým procesom celkového toku vody v pôde, sú vyjadrené samostatnými analytickými, numerickými vzťahmi (SUPIT ET AL 1994, BOOGAARD ET AL 2002, SUPIT ET VAN DER GROOT 2003). Bilančná rovnica môže byť rôzne modi-

fikovaná podľa zvoleného sub-modelu (potenciálna produkcia biomasy, produkcia biomasy s limitovanou dostupnosťou pôdnej vody a to s vplyvom alebo bez vplyvu hladiny podzemnej vody.

Modelom SWAP je možné pre výpočet vlhkosti pôdy a bilancie vody v pôde vo vzťahu k modelovaniu vývoja biomasy zvoliť rôzny časový krok (sekunda, hodina, deň). Vlhkosť pôdy je počítaná pomocou fyzikálnych vzťahov pre pohyb vody v rôzne nasýtenom prostredí (Darcyho vzťah – 2a, Richardsonova rovnica – 2b):

$$q = -K(h) \frac{\partial(h+z)}{\partial z} \quad (2a)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial \left[ K(h) \left( \frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S_a(z) \quad (2b)$$

kde  $q$  predstavuje intenzita pohybu vody ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $\theta$  zodpovedá objemovej vlhkosti pôdy ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $k$  zodpovedá nenasýtenej hydraulikej vodivosti pôdy ( $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $h$  predstavuje vlhkosťný potenciál pôdy (cm);  $C$  zodpovedá zmene vlhkosti pôdy pripadajúcej na jednotkovú zmenu vlhkosťného potenciálu pôdy,  $S_a$  je aktuálna (reálna) intenzita odberu pôdnej vody koreňmi rastlín ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $z$  zodpovedá vertikálnej súradnici (cm) a  $\Delta t$  je časový krok.

Intenzita odberu pôdnej vody koreňmi rastlín je modelom stanovená na základe vzťahu:

$$S_a(z) = S_p \cdot \alpha_{rw} \cdot \alpha_{rs} \quad (2c)$$

kde  $S_p$  je intenzita odberu pôdnej vody koreňmi rastlín ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $\alpha_{rw}$  zodpovedá redukčnému faktoru – vplyvu vodného stresu a  $\alpha_{rs}$  zodpovedá redukčnému faktoru – vplyvu stresu z obsahu solí. Platí pri tom, že aktuálna (reálna) intenzita odberu pôdnej vody koreňmi rastlín v celej zóne prekorenenia zodpovedá intenzite reálnej transpirácie rastlín.

Pri modelovaní pohybu (transportu) vody v pôdnom profile SWAP simuluje aj procesy, ktoré model WOFOST zanedbáva (neberie do úvahy), prípadne ich uvažuje vo výrazne zjednodušenej forme: laterálna drenáž/infiltrácia, detailný transport závlahovej vody, heterogenita pôdneho prostredia – hystereza, napučívanie, vplyv podzemnej vody na vlhkosťné pomery pôdneho profilu a pod..

### **Pôda v rámci modelu WOFOST a SWAP**

#### **(princípy formalizácie pôdy a požiadavky na vstupné údaje o pôde)**

Modelom WOFOST je pôdny profil, z hľadiska variability pôdnych vlastností, považovaný v celej hrúbke za homogénny. Vo vertikálnom smere sa však pôdny profil rozdeľuje na dve základné fyziologické zóny, koreňovú zónu a substrátovú zónu. Maximálna hrúbka koreňovej zóny je daná hodnotou maximálnej hĺbky prekorenenia, ktorá je definovaná ako prekážka pre rast koreňov (hladina podzemnej vody, pevná hornina) alebo fyziologickými vlastnosťami modelovanej rastliny. Aktuálna hrúbka koreňovej zóny je stanovená na základe fenologického

vývoja rastliny a závisí od vývojového štádia rastliny v danom časovom horizonte. Pod koreňovou zónou sa nachádza substrátová zóna, ktorá na modelovanie dynamiky pôdnej vody nemá priamy vplyv.

Model SWAP zachováva informáciu o vertikálnej variabilite vlastností pôdy. Pri formalizácii pôdneho profilu a príprave vstupných údajov je tak možné definovať 1 až 10 pôdnych horizontov (pravidelných alebo genetických), ku ktorým sú priradené hodnoty vybraných pôdnych charakteristík. Koreňová zóna je modelom SWAP definovaná a stanovená druhotne – pre potreby modelovania strát vody (odberu vody koreňmi rastlín) v pôdnom profile vplyvom vývoja a rastu pestovanej plodiny.

Pôdny profil uvažovaný modelom WOFOST je charakterizovaný jedným samostatným súborom. Súbor obsahuje hydrofyzikálne vlastnosti pôd (matica retenčných vlastností, matica hydraulických vlastností, vybrané hydrolimity – bod vädnutia, plná vodná kapacita, poľná vodná kapacita) a vybrané vlastnosti obrábatelnosti pôd, ktoré charakterizujú koreňovú zónu ako celok. Vlastnosti substrátovej zóny sú vo vstupnom súbore definované iba jednou charakteristikou – maximálnou mierou presakovania vody v substrátovej zóne, ktorý slúži pre potreby modelovania strát nadbytočnej vody z koreňovej zóny.

Pôdny profil uvažovaný modelom SWAP je detailnejší a pre vstup údajov o pôde je preto využívaných niekoľko samostatných údajových súborov:

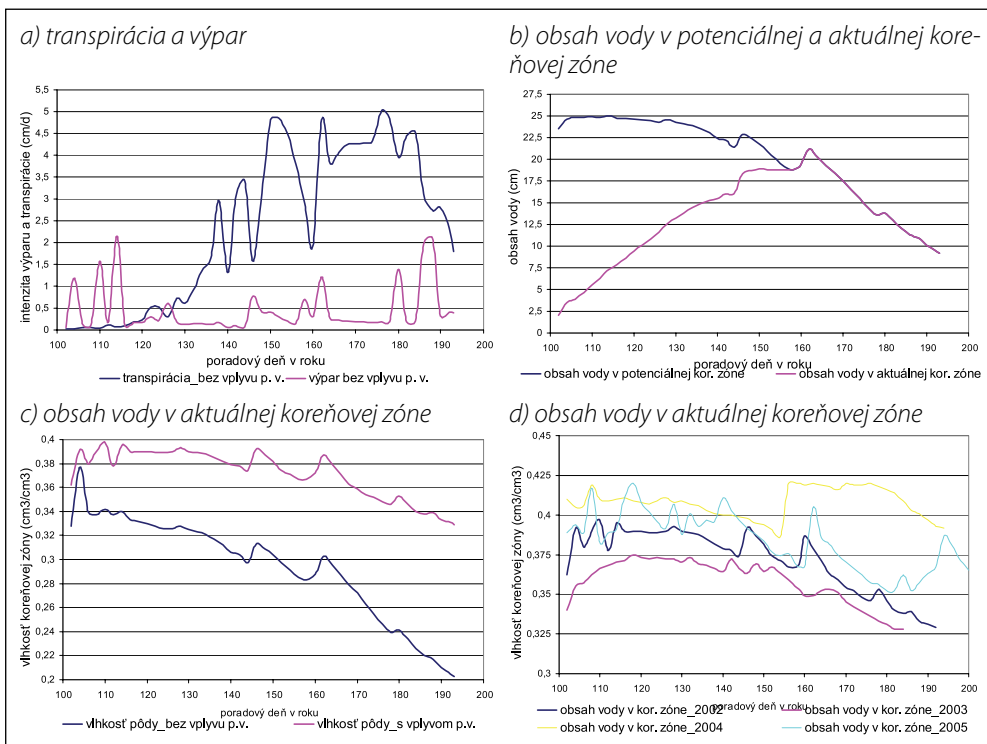
- súbor profilových údajov obsahuje údaje o stratifikácii pôdneho profilu a hrúbke uvažovaných vrstiev pôdy, údaje o obsahu jednotlivých zrnitostných frakcií pôdy a obsahu organického uhlíka, údaje o charakteristikách napučievania a zmršťovania pôdy, hysterézy a iníciaľných vlhkostných pomerov v pôdnom profile;
- súbory údajov o pôdnych horizontoch, pričom každý uvažovaný horizont je charakterizovaný údajmi o hydrofyzikálnych vlastnostiach pôdy (vlhkosť pôdy a zodpovedajúci tlakový potenciál pôdnej vody a hydraulická vodivosť pôdy; vybrané charakteristiky retenčnej krivky - reziduálna vlhkosť pôdy, obsah vody pri plnom nasýtení pôdy vodou, nasýtená hydraulická vodivosť a tvarové parametre rovnice pre výpočet retenčnej krivky).

### **Potenciálne výstupné údaje modelov WOFOST a SWAP (konkrétne modelové situácie)**

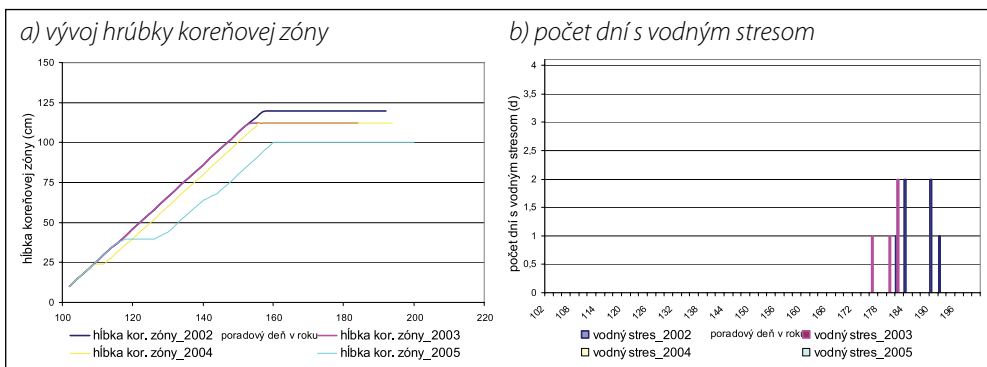
Modelom WOFOST sú vlhkostné pomery (stavy) pôdy simulované len pre koreňovú zónu ako celok, bez uvažovanej vertikálnej variability vlhkosti. Hrúbka koreňovej zóny a jej variabilita v čase podmienená rastom koreňov (obr. 4a) predstavuje preto východisko pre stanovenie vlhkostných pomerov pôdy v akomkoľvek časovom okamihu. Vlhkostné pomery je možné charakterizovať prostredníctvom nasledovných charakteristík:

- vlhkosť aktuálnej koreňovej zóny ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), obr. 3c;
  - dostupná voda v potenciálnej koreňovej zóne a v aktuálnej koreňovej zóne (cm), obr. 3b, (odvoditeľné len v prípade modelovej situácie bez vplyvu podzemnej vody);
  - počet dní s vodným stresom (suchom) pre konkrétnu plodinu (obr. 4b), počet dní so stresom z nadmerného premočenia pôdneho profilu.
-





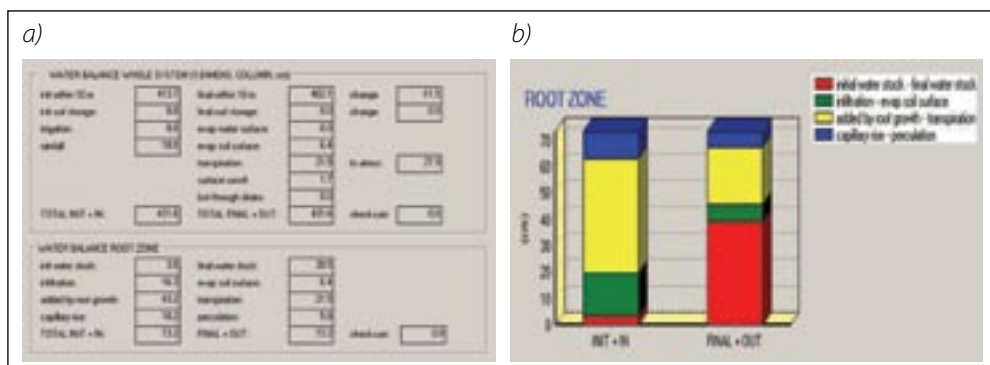
Obr.3 Výstupy z modelu WOFOST: charakteristiky vlhkosťných pomerov v pôde; lokalita Gabčíkovo, čiernica typická karbonátová, porast jačmeňa jarného, rok 2002 (obr. 3a, 3b – modelová situácia bez vplyvu podzemnej vody; obr. 3c – s a bez vplyvu pozemnej vody); roky 2002 – 2005 (obr. 3d – modelová situácia s vplyvom podzemnej vody)



Obr.4 Výstupy z modelu WOFOST: indikátory a charakteristiky vlhkosťných pomerov v pôde; lokalita Gabčíkovo, čiernica typická karbonátová, porast jačmeňa jarného, roky 2002-2005 (4a – modelová situácia s vplyvom podzemnej vody; 4b – modelová situácia bez vplyvu podzemnej vody)

Pri modelovaní vlhkostných pomerov koreňovej zóny sú odvodené aj hodnoty procesov vstupujúcich do bilančnej rovnice, ktoré sa významnou mierou podieľajú na samotnej vlhkosti pôdy: intenzita transpirácie (mm/d) – obr. 3a, intenzita výparu (mm/d) – obr. 3a, kolísanie hĺbky hladiny podzemnej vody (cm), povrchová retencia vody (cm).

Okrem modelovania vlhkostných pomerov pôdy (stavov) prostredníctvom vybraných charakteristík, umožňuje model WOFOST aj zhodnotenie celkovej bilancie vody v pôde (v celom profile) a v koreňovej zóne za modelovaný časový horizont (obr. 5).



Obr. 5 Výstupy z modelu WOFOST: bilancia vody v pôde (v celom profile, 5a) a v koreňovej zóne (5b); lokalita Gabčíkovo, čiernica typická karbonátová, porast jačmeňa jarného, rok 2002

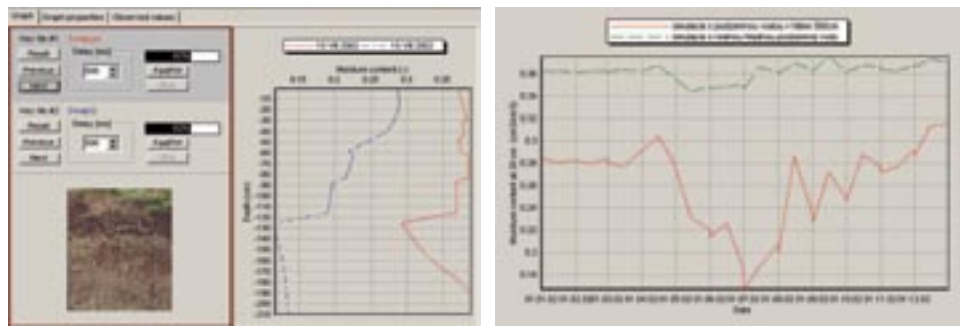
Model SWAP simuluje vlhkostné pomery (stavy) pôdy pre vopred definované pôdne horizonty zvlášť. Výsledkom modelovania je obraz vertikálne diferencovanej vlhkosti v pôdnom profile.

Modelom SWAP umožňuje charakterizovať vlhkostné pomery v pôde prostredníctvom množstva charakteristík:

- bilancia vody v pôde – úrovne intenzity čiastkových tokov vody (zrážky, závlaha, povrchový odtok, transpirácia, výpar, laterálny tok, a pod.) za každý vopred definovaný časový krok (cm);
- bilancia vody v pôde (celkový prehľad) – úrovne intenzity čiastkových tokov vody za celé definované obdobie (cm);
- prírastky čiastkových tokov v rámci bilančnej rovnice (cm/d);
- vertikálna variabilita hodnoty vlhkosti a vlhkostného potenciálu v definovaných hĺbkach profilu (profilová vlhkosť – obr. 6a) vo vopred definovanom časovom kroku (variabilita v čase – obr. 6b),
- výsledky modelovania vývoja biomasy (vegetačné indexy), v ktorých je zaradený aj vývoj hĺbky koreňovej zóny.

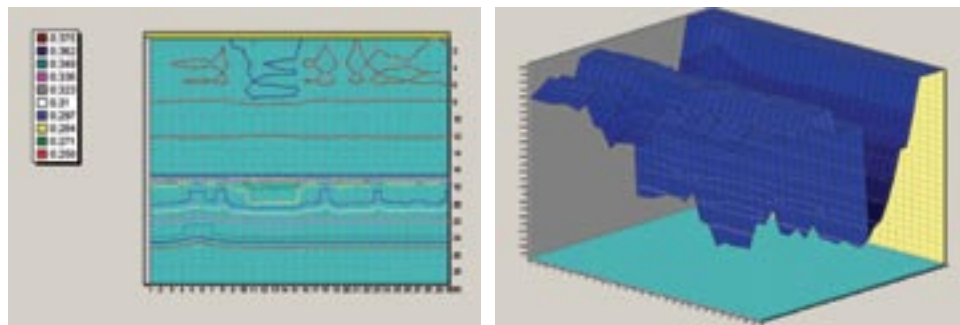
Model SWAP, na rozdiel od modelu WOFOST, umožňuje zostavovať grafy chronoizoplét (obr. 7a), ako aj priestorové (3D) prierezy vlhkostí v pôdnom profile a ich zmien v čase (obr. 7b).

a) Vertikálna variabilita vlhkosti pôdy – prierez profilom (15. 8. 2002)      b) Časová variabilita (v roku 2002) vlhkosti pôdy v hĺbke 20 cm



Obr. 6 Výstupy z modelu SWAP: lokalita Gabčíkovo, čiernica typická karbonátová, porast jačmeňa jarného, rok 2002 (modelová situácia s hladinou podzemnej vody v hĺbke 500 cm a s reálnou hladinou podzemnej vody)

a) Chronoizoplety – 2D graf variability vlhkosti      b) 3D graf variability vlhkosti pôdy



Obr. 7 Výstupy z modelu SWAP: lokalita Gabčíkovo, čiernica typická karbonátová, porast jačmeňa jarného, rok 2002 (modelová situácia s reálnou hladinou podzemnej vody)

## ZÁVER

Modely WOFOST a SWAP sú príbuzné softvérové aplikácie zamerané na simuláciu procesov v systéme (agroekosystéme) tvorenom prvkami atmosféra – pôda – rastlina – voda, pričom však vychádzajú z rôznych princípov definovanej funkčnej štruktúry systému a detailnosti vnímania jeho prvkov. Táto rozdielnosť sa odráža v rozdielnych požiadavkách oboch modelov na údajové vstupy, ako aj v charaktere potenciálne odvoditeľných výstupných charakteristík (a indikátorov) vlhkosťných pomerov v pôde.

Model WOFOST je agometeorologický model so zjednodušeným vnímaním pôdneho prostredia (považovaného za homogénny z hľadiska hydrofyzikálnych vlastností). Pre simuláciu vlhkosťných pomerov pôdy je nevyhnutná definícia koreňovej zóny a stanovenie zmien jej hĺbky vplyvom rastu koreňov rastlín (od aktuálnej až po maximálnu hĺbku koreňovej zóny). Samotná vlhkosť pôdy je stanovená aplikáciou bilančnej rovnice v každom, vopred definovanom

časovom kroku., t.j. je závislá na kvantifikácii jednotlivých čiastkových procesov vstupujúcich do bilančnej rovnice.

Model SWAP je agrohydrologický model s detailnou prezentáciou pôdneho prostredia, s vnímaním vlastností a procesov v pôde, ktoré sú modelom WOFOST zanedbávané (hysteréza, napučíavanie, detailná charakteristika drénu, laterálny tok, vplyv pozemnej vody, infiltrácia a pod). Pre simuláciu vlhkostných pomerov pôdy je možné v rámci pôdneho profilu definovať 1-10 pôdnych horizontov (pravidelných alebo genetických), ktoré sú (každý zvlášť) charakterizované vlastnosťami pôdy dôležitými z hľadiska správania sa vody v pôde – zrnitosť, hydrofyzikálne – retenčné a hydraulické vlastnosti, a pod.). Týmto spôsobom model SWAP zachováva vertikálnu diferenciaciu pôdneho profilu a je preto náročný na podrobné údajové vstupy o pôde. Samotná vlhkosť pôdy je stanovená aplikáciou implementovaného Darcyho a Richardsovanho fyzikálneho vzťahu pre pohyb a prúdenie vody v nenasýtenom a nasýtenom prostredí.

Výsledky modelovania vlhkostných pomerov pôdy a vlhkosť pôdy ovplyvňujúcich čiastkových tokov vody v pôdnom profile prostredníctvom modelov WOFOST a SWAP umožňujú charakterizovať a kvantifikovať:

- okamžité stavy pôdy (vlhkostné pomery pôdy) vo vopred stanovenom časovom okamihu v aktuálnej koreňovej zóne, prípadne v rôznej hĺbke pôdneho profilu;
- vývoj (zmeny) vlhkostných pomerov pôdy (v aktuálnej koreňovej zóne, v rôznej hĺbke pôdneho profilu) v čase;
- bilanciu vody v pôdnom profile (v koreňovej zóne, v rôznej hĺbke pôdneho profilu) vždy k stanovenému termínu, prípadne za celé sledované obdobie prostredníctvom kvantifikovaných čiastkových procesov bilančnej rovnice;
- rozdiely (porovnanie) medzi vlhkostnými pomermi pôdy v rôznych sezónach (alebo iných časových horizontoch).

Zabezpečením množstva reprezentatívnych modelovaných situácií model WOFOST umožňuje vytvoriť obraz o horizontálnej priestorovej variabilite vlhkostných pomerov v pôde. Model SWAP uvažuje aj vertikálnu variabilitu vlhkostných pomerov v horizontálne variabilnom priestore pedosféry a výsledky modelovania tak reprezentujú priestorový (troj-dimenzionálny) obraz vlhkostných pomerov v pôde.

Výsledky modelovania vlhkostných pomerov v pôde teda umožňujú kvantifikovať stavy pôdy a ich zmeny v rôznych priestorových mierkach a časovom detaile, ktoré nie je možné efektívne a racionálne zabezpečiť priamym meraním. Využitie výsledkov modelovania pre reálny a funkčný monitoring vlhkostných pomerov v pôde však vyžaduje validizáciu oboch modelov z hľadiska presnosti a vierohodnosti simulovaných výsledkov.

Analýza modelov WOFOST a SWAP poukázala na limity a obmedzenia modelov (rôzny stupeň generalizácie funkčného modelu), ako aj na limity a obmedzenia vyžadovaných údajových vstupov o pôde (nedostupnosť údajov, potreba nepriameho odvodenia vyžadovaných hydrofyzikálnych vlastností, a pod.). Aj napriek známym limitom a obmedzeniam však modelovanie ako také predstavuje potenciálne využiteľnú metódu získavania údajov o vlhkostných pomeroch pôdy, ktoré sú nevyhnutné napríklad pre monitoring stavu a vývoja biomasy, či pre efektívne využívanie závlah.

---

## LITERATÚRA

- BOOGAARD, H. L., EERENS, H., SUPIT, I., VAN DIEPEN, C. A., PICCARD, I., KEMPENEERS, P. 2002. *Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS)*. METAMP-report 1/3, Alterra and VITO, JRC-contract 19226-2002-02-F1 FED ISP NL, 179 pp.
- DRIESSEN, P. M. 1986. *The water balance of the soil*. In H. VAN KEULEN & J. WOLF (eds.). *Modelling of agricultural production: weather, soil and crop*. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, The Netherlands, pp. 76-116.
- FULAJTÁR, E., ČURLÍK, J., BARANČÍKOVÁ, G., SEDLÁKOVÁ, B., ŠURINA, B. 1998. *Vplyv vodného diela Gabčíkovo na poľnohospodárske pôdy*. Bratislava: VÚPÚ. 199 s. ISBN 80-85361-28-0.
- KROES, J. G., VAN DAM, J. C. 2003. *Reference Manual SWAP version 3.0.3*. Wageningen, Alterra, Green World Research. Alterra-report 773. Reference Manual SWAP version 3.0.3.doc. 211 pp.
- MITÁŠOVÁ, I., VEVERKA, B., PEZLAR, Z. 1990. *Základy teórie systémov a kybernetiky s aplikáciami v geodézii a kartografii*. Bratislava: Alfa. 240 s. ISBN 80-05-00520-2.
- NOVÁKOVÁ, M., SKALSKÝ, R. 2006. *Soil data potential for its application in process of selected crops yield prediction*. In *Agriculture*, Vol. 52, No. 4, p. 177-188.
- ORFÁNUS, T., BALKOVIČ, J. 2004. *Metodika generovania priestorových máp retenčných vlastností pôd z bodových dát o pôdnej textúre*. In *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. 5, No. 1, s. 139-148.
- SCHAAP, M. G., BOUTEN, W. 1996. *Modelling Water Retention Curves of Sandy Soils Using Neural Networks*. In *Water Resour. Res.*, Vol. 32, p. 3033-3040.
- SUPIT, I., HOOIJER, A. A., VAN DIEPEN, C. A. (Eds.) 1994. *System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: Theory and Algorithms*. EUR Publication N° 15959 EN of the Office for Official Publications of the EC. Luxembourg, 146 pp.
- SUPIT, I., VAN DER GOOT, E. 2003. *Updated system description of the WOFOST crop growth simulation model as implemented in the crop growth monitoring system applied by European Commission. Treebook 7*. Treemail Publishers, Heelsum, 120 pp. ISBN 90-804443-8-3.
- SWAP (*Soil Water Atmosphere Plant*) [online]. Wageningen UR, c2006 [cit. 2006-10-02]. Dostupné na internete: <http://www.swap.alterra.nl/>
- VAN DAM, J. C. 2000. *Field-scale water flow and solute transport (SWAP model concepts, parameter estimation and case studies)*. Doctoral Thesis Wageningen University, Netherland, 167 pp. ISBN 90-5808-256-3.
-

# METODICKÉ ASPEKTY DIGITALIZÁCIE ÚDAJOV KPP

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF KPP DATA DIGITALIZATION

**Rastislav SKALSKÝ, Martin SAKSA**

*Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava,  
e-mail: skalsky@vupu.sk, saksa@vupu.sk*

### ABSTRACT

In the period of 2003 – 2005 years the concept of Geo-referenced database of agricultural soils of Slovakia (GDPPS) was proposed and introduced as a logical frame for digitalization of data collected during the General survey of agricultural soils of Slovakia (KPP). Methodologies for both soil profile and soil mapping unit data digitalization were developed and tested. Digital data archive and system of supporting processing rules were created and introduced as a tool for managing the KPP data digitalization on the higher organizational level. In the article we made an attempt to make an overview on the KPP data used as inputs for digitalization; we also tried to point out the important aspects of the developed methodologies and to briefly describe content of the un-published methodological documents actually employed as a methodological base for the KPP data digitalization.

**KEYWORDS:** General survey of agricultural soils of Slovakia, Geo-referenced Database of Agricultural Soils of Slovakia, soil data digitalization

### ABSTRAKT

V období rokov 2003-2005 bol vytvorený koncept Georeferencovanej databázy poľnohospodárskych pôd Slovenska, ktorý by mal vytvoriť logický rámec pre digitalizáciu údajov získaných počas Kompexného prieskumu poľnohospodárskych pôd Slovenska. V tomto období boli vyvinuté a testované aj metodické postupy pre digitalizáciu údajov o pôdnych sondách a digitalizáciu pôdnych máp. Ako podpora metodických postupov bol vytvorený aj súbor organizačných pravidiel pre digitalizáciu a digitálny archív pre archiváciu digitálnych vstupov a výstupov digitalizácie údajov o pôde. V článku sa pokúšame o prehľad vstupov pre digitalizáciu a rovnako sa pokúšame uviesť všetky zásadné metodologické momenty, ktoré sú zatiaľ popísané iba v nepublikovaných metodických dokumentoch.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** Komplexný prieskum poľnohospodárskych pôd Slovenska, Georeferencovaná databáza poľnohospodárskych pôd Slovenska

---

## ÚVOD

V rokoch 1961-1970 prebehol na území celého bývalého Československa Komplexný prieskum poľnohospodárskych pôd (ďalej ako KPP). Hlavným zámerom KPP bolo vypracovať účelové odborné podklady pre racionalizáciu riadenia poľnohospodárskej výroby na vedeckých základoch. Počas prieskumu bola preto pozornosť venovaná najmä identifikácii prírodných limitov a potenciálov poľnohospodárskej výroby a následnej geografickej regionalizácii výrobných podmienok (viac v prácach NĚMEČEK A KOL., 1967, DAMAŠKA A KOL. 1967, HRAŠKO A BEDRNA 1970, HRAŠKO 1990).

Ako podklad pre realizáciu uvedených zámerov KPP, bolo počas prieskumu poľnohospodársky využívanej krajiny nazhromaždené veľké množstvo základných prírodovedných údajov a poznatkov o pôdach vo forme mapových a doplnkových textových výstupov (ďalej ako výstupy/údaje KPP). Výstupy KPP boli spracované na dvoch úrovniach priestorového a obsahového detailu – základnej (lokálnej) úrovni a generalizovanej (regionálnej) úrovni podľa jednotnej metodiky prieskumu (NĚMEČEK A KOL., 1967, SÍROVÝ A KOL., 1967, ďalej ako metodika KPP).

Vďaka celoplošnému charakteru a metodickej jednotnosti sú výstupy KPP dostupné v rovnakej kvalite pre celé územie Slovenska a dodnes tak predstavujú nosný zdroj údajov o priestorovej distribúcii pôd a ich vlastnostiach. Na báze údajov KPP boli a sú realizované rôzne nadstavbové syntetické, interpretačné a aplikačné úlohy (za mnohé napr. HRAŠKO A KOL. 1973, DŽATKO A KOL. 1976, NOVÁKOVÁ A SKALSKÝ 2006).

V súvislosti s nastupujúcou informatizáciou spoločnosti koncom minulého storočia vznikla potreba riešenia vhodnej reprezentácie výstupov KPP v podobe, v ktorej by boli dostupné pre spracovanie výpočtovou technikou. Už začiatkom 80. rokov minulého storočia sa objavili prvé snahy o digitalizáciu výstupov KPP ako súčasť širšie vnímaného informačného systému o pôde (LINKĚŠ A KOL. 1988). S ohľadom na vtedajšie možnosti využitia výpočtovej techniky sa však pozornosť zameriavala predovšetkým na digitalizáciu údajov o pôdnych profiloch. Až neskôr, keď rozvoj, všeobecná dostupnosť a úroveň využívania informačných technológií v oblasti geografických informačných systémov umožnila realizovať komplexnejšie a náročnejšie úlohy, sa pozornosť zamerala na KPP ako celok.

V období rokov 2003 – 2005 bol vytvorený koncept a logický návrh Georeferencovanej databázy poľnohospodárskych pôd Slovenska (ďalej ako GDPPS), ktorá predstavuje digitálnu (databázovú) realizáciu vybraných výstupov KPP (viac v práci SKALSKÝ 2005). Nevyhnutným krokom tvorby GDPPS je prevod všetkých relevantných výstupov KPP do digitálnej t.j. počítačom spracovateľnej, podoby (ďalej ako digitalizácia). Bez predchádzajúcej digitalizácie archivovaných výstupov KPP by totiž nebolo možné realizovať ďalšie zásadné kroky tvorby GDPPS (úprava a integrácia údajov do logickej štruktúry GDPPS a aplikácia údajov KPP v prostredí geografických informačných systémov).

V predkladanom príspevku sa pokúšame stručne predstaviť metodické postupy pre digitalizáciu výstupov KPP, ktoré boli vytvorené ako výsledok viacročného úsilia v oblasti tvorby GDPPS. Uvádzame aj vybrané organizačné aspekty digitalizácie údajov KPP, ktoré spolu s metodickými postupmi predstavujú nevyhnutné nástroje úspešnej realizácie uvedených činností.

---

## MATERIÁL A METÓDY

### Vstupy pre digitalizáciu údajov KPP

Výstupy KPP, uvažované ako vstupy pre digitalizáciu, predstavujú výsledky pôdneho prieskumu na lokálnej úrovni. Výstupy KPP na lokálnej úrovni boli spracované samostatne pre jednotlivé základné územné jednotky pôdneho prieskumu KPP (ďalej ako ZJP), ktoré územne zodpovedajú hospodárskym obvodom poľnohospodárskych podnikov existujúcich v rokoch 1961-1970. Originály všetkých uvažovaných výstupov KPP sú dostupné v archíve KPP na Výskumnom ústave pôdoznalectva a ochrany pôdy.

Pracovné mapy KPP sú pracovné výstupy KPP, na ktorých boli na topografickom podklade štátnej mapy odvodené v mierke 1:5 000, resp. 1:10 000 pri zmenšených mapových listoch (ďalej ako ŠMO) alebo na podklade vojenskej topografickej mapy v mierke 1:10 000 (ďalej ako TM) priamo v teréne zaznamenané skutočnosti zistené pri prieskume. Prostredníctvom štandardného mapového kľúča upraveného metódou KPP bola na pracovných mapách KPP zaznamenaná lokalizácia pôdných sond, boli vykreslené areály pôdných mapovacích jednotiek s plošným vyjadrením limitujúcich, či degradačných vplyvov (zamokrenie a erózia) a interpretované a vyznačené areály agronomickej regionalizácie pôd. Okrem údajov o pôde boli na pracovných mapách KPP znázorňované aj niektoré ďalšie súvisiace obsahové prvky (lesy, intravilány, vodné toky a vodné plochy, ostatné plochy a cestné komunikácie).

Z originálov pracovných máp boli v rokoch 2003-2004 vytvorené digitálne kópie v rozlíšení 100 dpi pre ŠMO a TM a 200 dpi pre zmenšené mapové listy ŠMO (formát údajov Tiff), ktoré boli po ortorektifikácii (geografický súradnicový systém S-JTSK) archivované na digitálnych médiách (viac v práci SKALSKÝ A KOL. 2003). Na podklade digitálnych kópií pracovných máp bol v rovnakom období pre celé územie Slovenska vytvorený georeferencovaný súbor lokalizácie sond KPP (viac v práci SKALSKÝ A KOL. 2003, 2004). Údaje o sondách sú dostupné vo formáte ESRI Shape. Uvedené digitálne údaje v procese digitalizácie výstupov KPP nahrádzajú originálne vstupy.

V prípade keď z daného územia nie sú dostupné pracovné mapy KPP, majú pre digitalizáciu význam aj pracovné mapy bonitácie poľnohospodárskych pôd, ktoré sú odvodeným výstupom spracovaným na báze výstupov KPP (DŽATKO A KOL. 1976). Tematický obsah je tvorený areálmi účelových pôdno-ekologických jednotiek, pričom na mapách je zaznamenaná aj lokalizácia sond KPP. Pracovné mapy bonitácie poľnohospodárskych pôd vstupujú do procesu digitalizácie rovnako ako pracovné mapy KPP vo forme digitálnej kópie.

Pôdne zápisníky sú pracovné výstupy KPP, ktoré pri terénnom prieskume slúžili na zaznamenávanie dôležitých vlastností pôdy pozorovaných v pôdnej sonde. Do špeciálneho formulára boli v súlade s metódou KPP zaznamenané údaje o identifikácii a lokalizácii sondy, údaje o vybraných zložkách krajiny a využití krajiny, údaje o pôdnom profile (klasifikácia pôdy a pôdotvorného substrátu, identifikácia príslušnej mapovacej jednotky), údaje o morfolologickej stavbe pôdneho profilu (morfológický popis genetických a substrátových horizontov) a informácia o odobratých vzorkách. Pôdne zápisníky sú dostupné ako príloha originálov záverečných správ z prieskumu jednotlivých ZJP.

---



Formuláre výsledkov analytického rozboru pôd sú pracovné výstupy KPP, v ktorých boli zaznamenané výsledky analytického rozboru vzoriek odoberatých z pôdných sond. Formuláre sú vytvorené samostatne pre základné sondy (jeden formulár pre všetky sondy v rámci daného ZJP) a samostatne pre výberové sondy (samostatný formulár pre každú sondu v rámci daného ZJP). Pre základné sondy, boli v súlade s ich účelom definovaným metodikou KPP, stanovované iba vybrané analytické charakteristiky v povrchovom a prvom podpovrchovom horizonte (obsah celkového ílu a výmenná pôdna reakcia). Pre výberové sondy, ako reprezentatívne pôdne profily za dané ZJP, boli hodnotené všetky identifikované genetické a substrátové horizonty súborom analytických charakterísk (zrnitostná krivka, aktívna a výmenná pôdna reakcia, charakteristika sorpčného komplexu, obsah humusu, karbonátov a prístupného draslíka a fosforu). Formuláre výsledkov analytického rozboru pôd pre základné aj výberové sondy sú dostupné ako príloha originálov záverečných správ z prieskumu jednotlivých ZJP.

Základná pôdna mapa a kartogram zrnitosti, štrkovitosti a zamokrenia pôdy v mierke 1:10 000 sú čístopisné (finálne) výstupy KPP. Tematickú náplň základnej pôdnej mapy tvoria areály taxonomických pôdných jednotiek na úrovni variety geneticko-agronomickej klasifikácie pôd (NEMEČEK A KOL., 1967), areály pôdotvorných substrátov a areály agronomickej regionalizácie. Tematickú náplň kartogramu zrnitosti, skeletovitosti a zamokrenia pôdy tvoria areály tried zrnitosti (zrnitosť pôdy, alebo jej prípadná zmena do 60 cm), areály tried skeletovitosti pôdy (skeletovitosť pôdy, alebo jej prípadná zmena do 60 cm) a plošné vyjadrenie limitujúcich, či degradačných vplyvov (zamokrenie pôdy a erózia). Základné pôdne mapy sú dostupné ako samostatné mapové listy, pričom jeden mapový list zodpovedá štyrom (zmenšeným) mapovým listom kladu mapy ŠMO. Pri kartograme zrnitosti, skeletovitosti a zamokrenia jeden mapový list zodpovedá jednému ZJP.

### **Tvorba metodických postupov pre digitalizáciu údajov KPP**

Tvorba metodických postupov prebiehala v rokoch 2003-2005 v úzkej súčinnosti s riešením konceptuálneho rámca GDPPS. V tomto období bol riešený vhodný údajový model pre reprezentáciu výstupov KPP, ktorý by v maximálnej možnej miere odrážal pôvodný charakter údajových vstupov. Na báze vytvoreného údajového modelu boli predbežne navrhnuté objekty digitalizácie (pôdne sondy a pôdne mapovacie jednotky) a bol určený predbežný postup digitalizácie (SKALSKÝ A KOL. 2003, 2004). Následne v troch samostatných modelových územiach s územným rozsahom jednej sekcie kladu listov ŠMO prebehol pilotný projekt digitalizácie.

Nedostatky predbežného metodického postupu zistené vo výstupoch z digitalizácie údajov KPP v modelových územiach (geometrická nekonzistencia údajov o pôdných mapovacích jednotkách, nejednoznačné pravidlá pre digitalizáciu údajov o sondách, komplikovanosť digitalizačného formulára pre sondy, nadbytočnosť niektorých uvažovaných tried prvkov) boli náležite ošetrené a vytvorené boli dva samostatné metodické dokumenty (metodika digitalizácie údajov o pôdných mapovacích jednotkách a metodika digitalizácie údajov o pôdných profiloch), SKALSKÝ A KOL. 2005. Tieto dokumenty upravujú všetky náležitosti digitalizácie (popis vstupov, nástrojov, všeobecného postupu a pravidiel digitalizácie).

Pri spracovaní oboch uvedených metodických postupov sa kládol dôraz na to, aby v pro-

cese digitalizácie v dostatočnej miere zabezpečovali vernosť vytváraných kópií originálnych údajov a aby prostredníctvom nich bola vo výstupoch digitalizácie v maximálnej možnej miere zachovaná pôvodná informačná hodnota vstupov. Ako súčasť digitalizácie nie je v metodických dokumentoch vnímaná žiadna zásadná úprava obsahu údajov KPP, ktorá by bola v rozpore s originálnymi podkladmi a do digitálnej kópie výstupov KPP sú tak preberané všetky náhodné a systematické chyby, ktoré vznikli počas realizácie KPP.

Ako nedostatok predbežného postupu digitalizácie bola identifikovaná aj absencia všeobecných organizačných pravidiel na úrovni koordinácie činností. Preto bol vytvorený aj samostatný dokument, ktorý okrem všeobecných náležitostí procesu digitalizácie (funkčné typy pracovníkov, následnosť prác, komunikácia) upravuje aj spôsob archivácie a výmeny vstupov a výstupov digitalizácie. Tento dokument zároveň predstavuje všeobecný rámec pre aplikáciu vyššie uvedených metodických dokumentov v procese digitalizácie výstupov KPP.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### **Organizačné pravidlá digitalizácie a digitálny archív vstupov a výstupov**

Archivácia, správa a výmena vstupov a výstupov je v procese digitalizácie výstupov KPP realizovaná prostredníctvom digitálneho dátového archívu GDPPS (ďalej ako DA). DA je navrhnutý a realizovaný ako otvorená hierarchická štruktúra adresárov dostupná na zvolenej pracovnej stanici prostredníctvom vnútornej počítačovej siete (intranetu). V DA sú ukladané všetky pracovné aj finálne výstupy digitalizácie údajov KPP, ako aj vstupy pre digitalizáciu a rôzne podporné súbory (originálne súbory a predspracované mozaiky pracovných máp KPP, georeferencovaný súbor lokalizácie sond KPP, georeferencované vrstvy územného členenia Slovenska, číselníky pre kódovanie údajových položiek a metodické dokumenty). Výmena údajov prostredníctvom DA je ošetrená súborom záväzných pravidiel. Pre potreby kontroly a evidencie prístupu do DA v procese digitalizácie sú všetky operácie vykonávané v DA zaznamenávané (odobratie/vloženie súboru, aktualizácia súboru, zálohovanie súboru či adresára).

Digitalizácia výstupov KPP je realizovaná pracovným tímom funkčne diferencovaných pracovníkov (operátori – výkonní pracovníci, ktorý realizujú digitalizáciu, administrátor - pracovník, ktorý realizuje správu DA a zabezpečuje predprípravu niektorých vstupov pre digitalizáciu a supervisor - vedúci pracovník zabezpečujúci organizáciu práce a riadiaci komunikáciu v rámci pracovnej skupiny). Komunikácia, ktorou je zabezpečené fungovanie pracovného tímu (pridelovanie práce, preberanie pridelenej práce, požiadavky na vstupy, oznámenie o zahájení/ukončení činností, oznámenie o sprístupnení údajov v DA) sa riadi záväznými pravidlami a prebieha vo forme štandardizovaných e-mailových správ.

### **Metodika digitalizácie údajov o pôdnych profiloch**

Pre digitalizáciu údajov o pôdnych profiloch sú ako zdroje údajov využívané pôdne zápisky a formuláre výsledkov analytického rozboru pôd.

Ako softvérový nástroj pre digitalizáciu údajov o pôdnych sondách je využívaný databá-

---

zový systém Office Access 2003 od spoločnosti Microsoft®. Údaje z originálnych podkladov sú zaznamenávané do digitálneho formulára, ktorý je vytvorený ako jedna tabuľka v prostredí Office Access 2003. V tabuľke je predefinovaný počet polí, názvy polí a ich dátové typy, ktoré sa počas digitalizácie nemenia. Digitalizácia prebieha v prostredí Office Access 2003, kde sú do digitálneho formulára operátorom zapisované relevantné údaje z pôdneho zápisníka alebo z formulára výsledkov analytického rozboru pôd.

Digitalizácia údajov o pôdnych profiloch je realizovaná postupne v samostatných blokoch. Jeden blok zodpovedá digitalizácii údajov zo všetkých ZJP územne príslušných do administratívnej jednotky na úrovni okresu (podľa členenia platného v období realizácie KPP). Blok pre digitalizáciu údajov o pôdnych profiloch tak zodpovedá vyššej územnej jednotke realizácie KPP.

Digitalizácia prebieha podľa definovaných pravidiel postupne, pre všetky sondy z relevantných ZJP. Z hľadiska digitalizácie výstupov KPP nemajú všetky údaje zaznamenané v pôdnom zápisníku a formulári výsledkov analytického rozboru pôd rovnaký význam, preto sú okrem základných údajov o sonde digitalizované iba údaje, ktoré sa z hľadiska popisu pôd javia ako dostatočne jednoznačné a objektívne. Údaje sú do digitálneho formulára zapisované vo forme kódu vytvoreného podľa daných pravidiel (typ sondy, dátum popisu sondy, číslo mapového listu, genetická pôdna jednotka, pôdotvorný substrát, počet horizontov, hĺbka horizontu, obsah skeletu, meno pôdoznanca), kódu priradeného pomocou číselníka (sekcia kladu listov ŠMO, ZJP, hĺbka pôdy, trieda zrnitosti, veľkosť a tvar skeletu) alebo sú vkladané priamo ako hodnoty (analytické údaje). Ako doplnok súboru základných pravidiel a číselníkov pre kódovanie údajov, je vytvorený aj súbor špeciálnych pravidiel viazaných na konkrétne údajové položky. Špeciálne pravidlá zabezpečujú jednotné riešenie nejednoznačných, či konfliktných záznamov vyskytujúcich sa v údajoch KPP a ošetrujú prípady, keď vybrané údaje v originálnych výstupoch KPP chýbajú.

Po ukončení digitalizácie údajov je pre vytvorený digitálny údajový súbor kontrolovaná väzba na údaje o lokalizácii pôdnych sond. Prostredníctvom databázovej relácie medzi údajmi digitálneho formulára a údajmi z georeferencovaného súboru lokalizácie sond KPP je analyzovaná vzájomná konzistencia údajov. Zo záznamov, pre ktoré nie je možné reláciu vytvoriť, je spracovaná chybová tabuľka. Pomocou chybovej tabuľky sú preverené príčiny nekonzistencie údajov (nesprávne hodnoty identifikátorov v niektorej z údajových báz, nezdigitalizovaná lokalizácia sondy, chýbajúci záznam v digitalizačnom formulári). Úprava chybných záznamov, či prípadné doplnenie záznamu do údajových súborov, sa riadi súborom špeciálnych pravidiel.

Výstupom digitalizácie údajov o pôdnych profiloch je digitálny formulár, ktorý je archivovaný v DA v internom formáte aplikácie Office Access 2003. Nepriamym výstupom digitalizácie údajov o pôdnych profiloch je upravený georeferencovaný súbor lokalizácie pôdnych sond, ktorý je rovnako archivovaný v DA.

### **Digitalizácia údajov o mapovacích jednotkách pôdneho pokryvu**

Základnými vstupmi pre digitalizáciu údajov o pôdnych mapovacích jednotkách sú pracovné mapy KPP, základná pôdna mapa a kartogram zrnitosti, skeletovitosti a zamokrenia pôdy. Pracovné mapy KPP vstupujú do procesu digitalizácie priamo ako podklad pre digita-

lizáciu, originály čistopisných máp vstupujú do procesu digitalizácie iba nepriamo na úrovni štandardizácie odborného obsahu.

Ako softvérový nástroj pre digitalizáciu údajov o pôdnych mapovacích jednotkách sú využívané aplikácie ArcCatalog™ 9.2 a ArcMap™ 9.2 dostupné ako súčasť softvérového balíka ArcGis® 9 od spoločnosti ESRI®. Pre ukladanie a správu údajov je využívaný komplexný údajový formát ESRI Personal Geodatabase navonok reprezentovaný jedným súborom. V tomto súbore sú v prostredí aplikácie ArcCatalog™ 9.2 vytvárané samostatné tabuľky pre každú uvažovanú triedu priestorových prvkov zobrazenú na základnej pôdnej mape alebo kartograme zrnitosti, skeletovitosti a zamokrenia. Tabuľky pomocou daných pravidiel vytvára operátor. Digitalizácia prebieha v rámci účelového projektu, ktorý je vytvorený v prostredí aplikácie ArcMap™ 9.2. V projekte sú údaje pre danú triedu priestorových prvkov operátorom vytvárané a spravované prostredníctvom dostupných nástrojov.

Digitalizácia údajov o pôdnych mapovacích jednotkách je realizovaná v samostatných blokoch. Jeden blok reprezentuje digitalizáciu údajov z územia, ktoré je s ohľadom na organizáciu väčšiny pracovných aj čistopisných mapových výstupov KPP definované jednou sekciou kladu listov ŠMO (t.j. na rozdiel od digitalizácie údajov o sondách tu nie je rešpektovaná vyššia organizačná úroveň KPP reprezentovaná okresom).

Digitalizácii údajov o pôdnych mapovacích jednotkách predchádza príprava vstupných údajov. Z jednotlivých digitálnych kópií pracovných máp KPP potrebných pre digitalizáciu v rámci bloku sa vytvorí iba jeden grafický súbor (mozaika) tak, aby operátor pri digitalizácii nemusel v rámci účelového projektu manipulovať s veľkým množstvom podkladových grafických súborov. Vytvoreniu mozaiky predchádza kontrola a prípadné doplnenie chýbajúcich vstupov z iných zdrojov (pracovné mapy bonitácie pôd). Na prácu s digitálnymi kópiami pracovných máp a prípravu mozaiky je využívaný softvérový nástroj ERDAS Imagine™ od spoločnosti Leica Geosystems.

Digitalizácia odborného obsahu pracovných máp KPP je z praktického dôvodu realizovaná v dvoch samostatných, vzájomne nadväzujúcich fázach.

Prvá fáza digitalizácie je zameraná na digitalizáciu hraničných línií mapovacích jednotiek pôdneho pokryvu a ostatných súvisiacich prvkov tematického obsahu pracovnej mapy KPP. Účelom je vytvorenie geometrického podkladu pre ďalšiu fázu digitalizácie. Pri digitalizácii sa operátor zameriava na hranice všetkých relevantných prvkov tematického obsahu mapy (pôdne mapovacie jednotky, intravilány, lesy, vodné toky a vodné plochy a ostatné plochy). Výsledkom je vytvorenie digitálneho súboru elementárnych areálov, ktoré reprezentujú čisto geometrický aspekt tematického obsahu pracovnej mapy KPP (t.j. V tejto fáze digitalizácie nie je uvažovaný atribúťový obsah digitalizovaných priestorových prvkov).

Druhá fáza digitalizácie je realizovaná na podklade údajov vytvorených v prvej fáze a je zameraná na vytvorenie výsledných areálov tried priestorových prvkov, ktoré sú zobrazené na základnej pôdnej mape a kartograme zrnitosti, skeletovitosti a zamokrenia pôdy (areály genetických pôdnych jednotiek, pôdotvorných substrátov, zrnitosti pôdy a skeletovitosti pôdy). Výsledné areály danej triedy sú vytvárané na podklade výstupu z prvej fázy digitalizácie spájaním elementárnych areálov. Pre vytvorené priestorové areály sú následne z podkladových čís-

---

topisných máp odčítané a pridané príslušné atribútové hodnoty. Proces digitalizácie prebieha pre každú triedu priestorových prvkov samostatne a po ukončení digitalizácie je vytvorená aj syntetická vrstva, ktorá reprezentuje priestorový rozsah a atribútový obsah pôvodnej pôdnej mapovacej jednotky.

Dôležitým krokom tak prvej, ako aj druhej fázy digitalizácie je výstupná kontrola vnútornej geometrickej konzistencie digitalizovaných údajov (nesúvisí s kontrolou obsahovej správnosti). V každej georeferencovanej vrstve je prostredníctvom príslušných nástrojov kontrolovaná jej topologická čistota a odstraňované sú všetky prípadné chyby vzniknuté počas digitalizácie (nedoliehanie hraníc alebo prekryvanie areálov).

Výstupy prvej aj druhej fázy sú po ukončení digitalizácie a kontrole geometrickej konzistencie z formátu ESRI Personal Geodatabase exportované do jednoduchšieho a z hľadiska výmeny údajov vhodnejšieho formátu ESRI Shape a archivované v DA. Výstupy prípravy mapových podkladov spracované v údajovom formáte Tiff (mozaiky) sú dočasne archivované v DA a trvalo zálohované na prenosných digitálnych médiách (magnetické pásky a CD/DVD nosiče).

## ZÁVER

V priebehu rokov 2003-2005 boli navrhnuté, testované a realizované metodické postupy pre digitalizáciu vybraných výstupov KPP na lokálnej úrovni. Vytvorený bol metodický postup pre digitalizáciu údajov o sondách a metodický postup pre digitalizáciu údajov o mapovacích jednotkách KPP. Uvedené metodické postupy predstavujú nevyhnutnú podmienku pre vytvorenie súboru konzistentných digitálnych údajov, ktoré sú uvažované ako vstupy pre budovanie modernej databázovej reprezentácie vybraných údajov KPP – Georeferencovanej databázy pôd Slovenska.

Pre potreby organizácie činností spojených s digitalizáciou výstupov KPP bol vytvorený samostatný dokument, ktorý okrem všeobecných náležitostí procesu digitalizácie (funkčné typy pracovníkov, následnosť prác, komunikácia) upravuje spôsob archivácie a výmeny vstupov a výstupov digitalizácie.

Spracované metodické postupy spolu s úpravou organizácie práce predstavujú flexibilný nástroj realizácie digitalizácie výstupov KPP v podmienkach rôznej dostupnosti kapacít pre dané činnosti. Vytvárajú rámec pre organizáciu pracovných tímov rôznej veľkosti a úrovne distribúcie v rámci Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy, rovnako umožňujú aj účelné delenie jednotlivých činností a ich realizáciu vo forme subdodávok rôznymi subjektmi.

## LITERATÚRA

DAMAŠKA, J., NĚMEČEK, J., ŠIMEK, J., RYGLEVITZ J., MATTAUSCHOVÁ, E., HARUDA, F. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR – Souborná metodika, Díl druhý, Metodika agronomické interpretace výsledků průzkumu půd*. Praha: Ministerstvo zemědělství a výživy. 132 s.

---

- DŽATKO, M., ABRAHÁM, J., BEDRNA, Z., LINKEŠ, V., STAŠÍK, V. 1976. *Charakteristika bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek SSR*. Bratislava: MPVŽ SSR. 107 s.
- HRAŠKO, J. 1990. *Pôdoznanectvo na Slovensku od konca päťdesiatych rokov*. In Pôda – najcennejší zdroj, Odborná účelová publikácia vydaná pri príležitosti 30. výročia vzniku Výskumného ústavu pôdnej úrodnosti. Bratislava: VCPÚ, s. 18-38.
- HRAŠKO, J., BEDRNA, Z. 1970. *Soil mapping on the territory of Slovakia*. In Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a výživy rastlín č. 4. Bratislava: Príroda, s. 13-19.
- HRAŠKO, J., LINKEŠ, V., NĚMEČEK, J., ŠÁLY, R., ŠURINA, B. 1973. *Pôdna mapa ČSSR 1:500 000*. Bratislava: Slovenská kartografia, Výskumný ústav pôdoznanectva a výživy rastlín.
- LINKEŠ, V., GROMOVÁ, A., LUPTÁK, D., PESTÚN, V., POLIAK, P. 1988. *Informačný systém o pôde*. Bratislava: Príroda. 195 s.
- NĚMEČEK, J., DAMAŠKA, J., HRAŠKO, J., BEDRNA, Z., ZUSKA, V., TOMÁŠEK, M., KALENDA, M. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR. 1. díl: Metodika terénního průzkumu*. Praha: Min. zemědělství a výživy. 246 s.
- NOVÁKOVÁ, M., SKALSKÝ, R. 2006. *Soil data potential for its application in process of selected crops yield prediction*. In Agriculture, Vol. 52, NO.4, S. 177 - 178
- SIROVÝ, V., FACEK, Z., POSPÍŠIL, F., KULÍKOVÁ, A., JAVORSKÝ, P., KALAŠ, V. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR – Souborná metodika, Díl třetí, Metodika laboratorních rozborů a principy hodnocení výsledků rozborů*. Praha: Ministerstvo zemědělství a výživy. 92 s.
- SKALSKÝ, R. 2005. *The Georeferenced Database of Agricultural Soils of Slovakia*. In Vedecké práce VÚPOP Bratislava 27. Bratislava: VÚPOP, s. 97-110.
- SKALSKÝ, R., BALKOVIČ, J., BLEHO, S., GRANEC, M., KOVÁČIKOVÁ, I., MODRÍK, L., PIVARČEKOVÁ, E. 2003. *Tvorba a prevádzka odvetvového geografického informačného systému – poľnohospodárska pôda ako údajovej základne pre IGIS RP. Záverečná správa (Kontrakt s MP SR, ČÚ 03)*. Bratislava: VÚPOP. 37 s.
- SKALSKÝ, R., BALKOVIČ, J., BLEHO, S., KOVÁČIKOVÁ, I., KRÍŠTOF, K., MODRÍK, L., PIVARČEKOVÁ, E., TÓTHOVÁ, J. 2004. *Tvorba a prevádzka odvetvového geografického informačného systému – poľnohospodárska pôda ako údajovej základne pre IGIS RP. Záverečná správa (Kontrakt s MP SR, ČÚ 07)*. Bratislava: VÚPOP. 91 s.
- SKALSKÝ, R., JAĎUĎA, M., PIVARČEKOVÁ, E., KRÍŠTOF, K., CALUNGA, A., TARASOVIČOVÁ, Z., IVANČO, P., KOVÁČIKOVÁ, I., BLEHO, S., ČUMOVÁ, L., PÁLKA, B. 2005. *Tvorba a publikácia informácií o pôde a krajine – budovanie pôdoznanleckého údajovo – znalostného systému*. Správa za úlohu MP SR. Bratislava: VÚPOP. 28 s.
-

# VYUŽITIE MODELU RUSLE PRE MODELOVANIE PÔDNEJ ERÓZIE (HNEDOZEM) V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY

## A RUSLE-MODEL USE FOR SOIL EROSION MODELLING (LUVISOL) IN CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE

Jaroslava SOBOCKÁ<sup>1</sup>, Rastislav DODOK<sup>1</sup>, Milan LAPIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava

<sup>2</sup>Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky fyziky a informatiky UK Bratislava

### ABSTRACT

One of the most serious threats of soil resources in prognosticated climate change scenario is considered soil erosion. It is referred to mainly soils developed from loess hilly land of Danube lowland, less soils of East-Slovak lowland. In the paper a model of soil erosion threat - RUSLE was tested on Haplic Luvisol (locality Dolná Krupá) representing Trnavian loess hilly land in condition of predicted climate change. Empiric mathematic erosion model RUSLE is developed for prediction of long-term average annual loss of soil material involved by runoff from any plot of given slope at given agricultural land management. A regional climate change scenario was used for modeling; input climatic parameters consist of monthly values of air temperature and precipitation and other required parameters for the period 2000 - 2090. As reference meteorological station was selected Jaslovské Bohunice. Two simulation agrotechnics were chosen for modelling: a) conventional crop rotation, b) anti-erosion measures in crop rotation. The main output of the modeling is quantification of water erosion in two simulations on reference area of Trnavian hilly land in relation to predicted climate change.

**KEYWORDS:** climate change, RUSLE model, soil erosion, Haplic Luvisol

### ABSTRAKT

Jedným z najväznejších ohrození pôdneho fondu prognózovaného v scenári klimatickej zmeny je zvýšená pôdna erózia. Týka sa hlavne pôd vyvinutých na sprašových pahorkatinách Podunajskej nížiny, menej Východoslovenskej nížiny. V príspevku sa testoval model erózneho ohrozenia RUSLE na hnedozemi kultizemnej (lokalita Dolná Krupá) ako reprezentanta Trnavskej sprašovej pahorkatiny v podmienkach predikovanej klimatickej zmeny. Empirický matematický erózný model RUSLE je určený na predikciu dlhodobej priemernej ročnej straty pôdy

spôsobenej odtokom z pozemkov určitého sklonu pri určitom systéme poľnohospodárskeho využitia. Ako vstupný klimatický parameter sa použil regionálny klimatický scenár mesačných hodnôt teploty vzduchu a zrážok a iných požadovaných parametrov pre roky 2000 - 2090 (s referenčnou meteorologickou stanicou Jaslovské Bohunice). Pre modelovanie sa vybrali dva simulačné agrotechnické postupy: a) konvenčný osevný postup, b) protierózny osevný postup. Výstupom modelu je prognóza kvantifikácie vodnej erózie pôdy v dvoch simuláciách na referenčnej ploche územia Trnavskej sprašovej pahorkatiny vzhľadom na daný scenár predpokladaných klimatických zmien.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** klimatická zmena, RUSLE model, pôdna erózia, hnedozem

## ÚVOD

Erózia poľnohospodárskej pôdy predstavuje úbytok povrchovej najúrodnejšej vrstvy poľnohospodárskej pôdy, úbytok živín, humusu, organickej hmoty, zníženie mikrobiologického života a stratu funkcií pôdy. Vodná erózia ako jeden z najrozšírenejších procesov degradácie pôdy na území Slovenska je rozšírený približne na dvoch tretinách poľnohospodárskeho územia vyznačujúceho sa zvlneným reliéfom a sypkým pôdotvorným substrátom ako je spraš, deluviálne hliny, piesčité hliny a pod. Jej výskyt je viazaný predovšetkým na pahorkatiny, kotliny, horské a podhorské polohy, kde aj v súčasnosti intenzívne prebieha.

S problematikou dopadov klimatickej zmeny na poľnohospodárske pôdy SR zaoberalo viacero prác (ŠURINA A KOL. 1996, TOMLAIN 1997, ŠURINA, SOBOCKÁ 1998, SOBOCKÁ 1999, ŠURINA 1999, SOBOCKÁ A KOL. 2005, TAKÁČ A KOL. 2006). Špeciálne problémy pôdnej erózie v zmenených klimatických podmienkach sú prezentované v práci ŠURINA, SOBOCKÁ (1998), ktorí predpokladajú, že výskyt náhlych intenzívnych búrkových zrážok v kombinácii s dlhšími obdobiami sucha môže výrazne podnietiť pôdnu eróziu. Sezónne kolísanie zrážok bude silne pôsobiť na mobilitu povrchových častí pôdy a pravdepodobne spôsobí okrem zosilnenej plošnej erózie aj intenzívnejšiu ryhový a výmoľovú eróziu. Tieto účinky by mali byť zrejme hlavne v jarnom a letnom období na pahorkatinách Podunajskej nížiny a v menšej miere aj vo Východo-slovenskej nížine, hlavne na černoziach a hnedoziach. Na sprašových pahorkatinách na miestach s najsilnejšími eróznymi podmienkami (konvexné svahy, nedostatočná protierózna ochrana) by malo postupne dochádzať k odnosu vrchnej humusovej vrstvy a plošne by sa mali rozšíriť regozeme a erodované subtypy pôd. Predpokladá sa, že v niektorých silne erózne postihnutých oblastiach bez zabezpečenia protieróznych opatrení môže mať zvýšená búrková činnosť katastrofálne následky.

V zalesených horských oblastiach sa prejaví vodná erózia v menšej miere. V oblastiach s nedostatočnými ochrannými opatreniami (odlesnené flyšové oblasti) sa však výskyt náhlych epizodických búrok môže prejavíť vo forme strží, zosuvov a pod.

Erózia má nepriaznivý vplyv na celý komplex pôdnych vlastností a celkove zhoršuje vlastnosti postihnutej pôdy po všetkých stránkach. Odnos povrchovej vrstvy pôdy má za následok stratu organickej hmoty a živín a následné zhoršenie ďalších vlastností ako sú zhoršenie pôdnej



štruktúry, zníženie pórovitosti, vododržnosti, zvýšenie náchylnosti na tvorbu kôry a podobne (Fulajtár, Janský 2001). Jedným z hlavných činiteľov spôsobujúcich antropogénnu eróziu je poľnohospodárstvo, pretože mnohé poľnohospodárske praktiky sú nevhodné pre pôdu a pôda je obrábaná neudržateľným spôsobom. Poľnohospodári sú podriadení trhovým princípom a to vyžaduje použitie jednostranných neekologických poľnohospodárskych praktík zameraných len na dosiahnutie maximálneho zisku bez ohľadu na možné environmentálne škody. Aj to bol dôvod, prečo sme modelovanie zvolili na poľnohospodárskej pôde.

Pre modelovanie eróznej ohrozenosti danej lokality pri predikovanej klimatickej zmene bol vybraný empirický matematický erózný model RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, SOIL&WATER CONSERVATION SOCIETY 1992), ktorý je určený na predikciu dlhodobej priemernej ročnej straty pôdy spôsobenej odtokom z pozemkov určitého sklonu pri určitom systéme poľnohospodárskeho využitia. Vznikol v 90. rokoch v USA na základe preverenia, aktualizácie a zásadnej revízie USLE (Universal Soil Loss Equation – Univerzálna rovnica straty pôdy) v spôsobe stanovenia jednotlivých faktorov rovnice. Výpočet je na základe algoritmov univerzálnej rovnice straty pôdy (WISCHMEIER, SMITH 1978). Výhody použitia modelu sú:

- je voľne prístupný na internete (počítačový program pracujúci v DOS – zjednodušenie výpočtu, možnosť mnohých kombinácií vstupných dát a úprava už zadaných údajov, atď.)
- umožňuje stanovenie jednotlivých faktorov, ich výpočet a určenie hodnoty straty pôdy (prepojenie pomocou podprogramov a predikčnej tabuľky RUSLE)
- má k dispozícii dátové súbory obsahujúce informácie o klíme (Databáza CITY), vegetačnom kryte (Databáza CROP) a agrotechnických operáciách na poli (Databáza OPERATION) pre územie štátov v USA a tiež umožňuje vytvorenie týchto súborov pre konkrétnu záujmovú lokalitu.

Existujú niektoré významné rozdiely medzi RUSLE a USLE. Ide predovšetkým o významné zmeny v spôsobe stanovenia jednotlivých erózných faktorov:

*R faktor* – zavedenie nových a revízia už existujúcich máp isoerodent pre územie USA, spresnenie časového priebehu hodnôt R faktora v 15-dennom intervale, stanovenie R faktora v oblastiach s malými sklonmi;

*K faktor* – určenie časového priebehu hodnoty faktora erodovateľnosti pôdy v dôsledku zhutňovania povrchu pôdy a rozpadu pôdných agregátov zrážkami a obhospodarovaním, ďalej vzhľadom k objemovým zmenám vyvolaných mrznutím a roztápaním, zahrnutie vplyvu skeletu na povrchu pôdy a v pôdnom profile na priepustnosť pôdy;

*LS faktor* – zavedenie nového vzťahu pre vplyv dĺžky a sklonu svahu, ktorý tiež uvažuje pomer rýhovej erózie k medzirýhovej, upresnenie hodnoty sklonu svahu pre stanovenie straty pôdy;

*C faktor* – spresnenie faktora pre hodnotenie vplyvu jednotlivých druhov plodín a spôsobu obrábania pre nevyužívané pôdy, pastviny, poškodené lesy, územia s povrchovou ťažbou surovín, staveniská a rekultivované plochy, zahrnutie vplyvu predchádzajúceho využitia pôdy, druhu vegetácie, pokryvu pôdy a drsnosti pôdneho povrchu;

*P faktor* – spresnenie hodnôt pre územia poľnohospodársky využívané i nevyužívané, pre-

hodnotenie vplyvu vrstevnicového obrábania a terasovania na zníženie straty pôdy, umožnenie návrhu ochrany pôdy a kontroly množstva splavenín.

## MATERIÁL A METÓDY

Scenár modelu RUSLE vychádza z tzv. všeobecnej rovnice zmyvu pôdy, nazývanej aj Wischmeierova rovnica (WISCHMEIER, SMITH 1978), ktorá je v súčasnosti najvyužívanejším vyjadrením dažďovej (plošnej vodnej) erózie:

$$G = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

kde G – množstvo odnesenej pôdy

R – faktor erózneho účinku dažďa

L – faktor dĺžky svahu

K – faktor protieróznej odolnosti pôdy

S – sklonu svahu

C – faktor rastlinného krytu

P – faktor spôsobu obhospodarovania

Wischmeierova rovnica zmyvu pôdy, ako základ modelu RUSLE, vychádza z predpokladu, že dažďová erózia je funkciou erózneho činiteľa (čiže zrážok), predmetu erózie (teda pôdy) a vplyvu eróznych podmienok, ktorými sú reliéf, rastlinný kryt a spôsob obrábania.

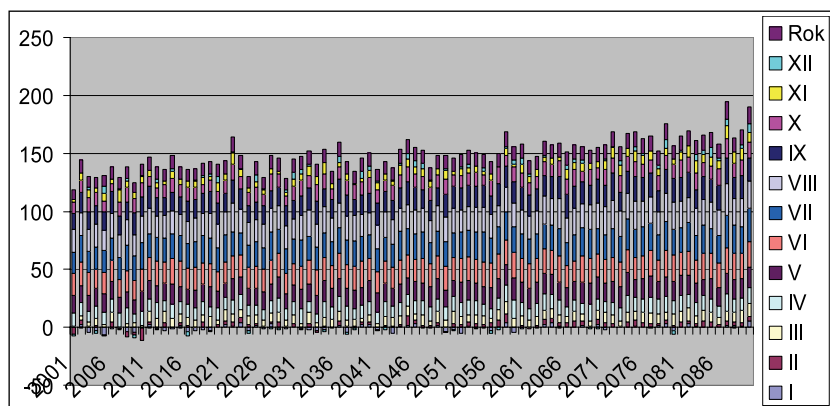
Pre modelovanie sme použili parametre pôdnej sondy (Tab. 1) popísanej pri Komplexnom prieskume poľnohospodárskych pôd (FULAJTÁR 1961):

**Tab. 1.** Vstupné údaje modelu RUSLE: pôdne parametre

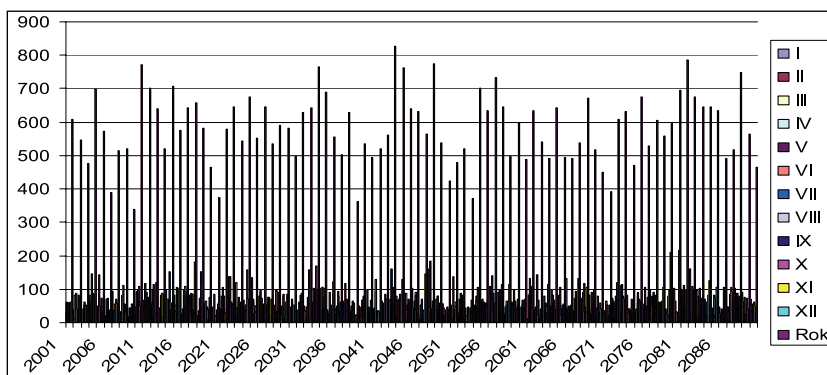
Lokalita	Dolná Krupá					
pôdny typ (MKSP 2000):	Hnedozem kultizemná (MKSP 2000)					
pôdotvorný substrát:	hlinitá spraš					
nadmorská výška	185 m n.m.					
topografia:	mierny svah (4°)					
Pôdny profil:						
horizont		Akp	A/Bt	Bt	B/C	Cc
hĺbka	cm	0-28	28-44	44-59	59-84	>84
celkový íl (< 0,01 mm)		33,19	37,88	32,21	41,9	31,91
fyzikálny íl (< 0,001 mm)		15,8	18,15	25,94	22,59	13,55
jemný prach (0,001-0,01 mm)		17,39	19,76	18,27	19,31	18,36
hrubý prach (0,01-0,05 mm)	%	50,9	47,19	43,33	45,42	55,65
jemný piesok (0,05-0,25 mm)		15,29	14,44	11,91	12,55	10,89
piesok (0,25-2 mm)		0,62	0,49	0,55	0,13	1,55
objemová hmotnosť redukovaná	g.cm <sup>3</sup>	1,44	1,47	1,44	1,52	-

špecifická merná hmotnosť		2,24	2,56	2,53	2,62	-
organický uhlík	%	0,76	0,59	0,43	0,43	0,32
humus	%	1,31	1,01	0,74	0,74	0,55
CaCO <sub>3</sub>		-	-	-	-	20,6
pH akt. (H <sub>2</sub> O)		7,25	7,05	6,85	7,22	8,2
pH vým. (KCl)		6,45	6,3	6,05	6,2	7,22
štruktúra		hrudkovitá	polyedrická	polyedrická	polyedrická	-

Ďalším zo vstupov pre výpočet hodnoty vodnej erózie je databáza klimatických ukazovateľov klimatického scenára CCCM97 danej lokality, v našom prípade meteorologickej stanice Jaslovské Bohunice ako reprezentanta regiónu sprašových pahorkatín. Klimatické parametre meteorologickej stanice Jaslovské Bohunice boli vypracované podľa scenára klimatickej zmeny CCCM97 (LAPIN 2004, LAPIN, MELO 2004, TAKÁČ A KOL. 2006). Pre model RUSLE bolo nevyhnutné uvažovať: priemerné mesačné teploty vzduchu (Obr. 1) a mesačné úhrny zrážok (Obr. 2), ďalej počet bezmrazových dní v mesiaci, tzv. index erozivity dažďa (EI) a hodnota 10-ročného privalového dažďa s intenzitou 30 min. Faktor erózneho účinku dažďa R je určený z databázy klimatických ukazovateľov.



Obr. 1. Klimatické parametre meteorologickej stanice Jaslovské Bohunice podľa scenára klimatickej zmeny CCCM97: priemerná mesačná teplota vzduchu (°C)



Obr. 2. Klimatické parametre meteorologickej stanice Jaslovské Bohunice podľa scenára klimatickej zmeny CCCM97: priemerný mesačný úhrn zrážok (mm)

Hodnota faktora protieróznej odolnosti pôdy  $k$  závisí predovšetkým od zrnitosti zloženia pôdy, ale tak isto je závislá od klimatických pomerov v danom roku. V prípade skúmanej lokality sme vybrali hnedozem kultizemnú s hlinitou textúrou – pôda je charakterizovaná podľa Novákovej klasifikácie obsahom častíc  $<0,01$  mm v rozsahu 30-45 % (ČURLIK, ŠURINA, 1998).

Pre stanovenie faktora dĺžky a sklonu svahu  $LS$  je potrebné okrem dĺžky a sklonu svahu stanoviť aj charakter využitia pôdy na svahu, v našom prípade sa jedná o ornú pôdu s alternatívou: erózia na svahu s dĺžkou 100 m a sklonom  $4^\circ$  (7 %).

Pri výpočte faktora rastlinného krytu  $C$  sme zadali konvenčný oševný postup s dátumami jednotlivých fenofáz a agrotechnických zásahov. Ako druhú alternatívu sme zadali špecifický protierózny oševný postup doporučený pre stredne erodované pôdy podľa Metodiky protierózneho obrábania pôdy (JAMBOR, ILAVSKÁ 1998).

Databáza pestovaných plodín obsahuje agronomické údaje pre pestovanú plodinu ako riadkovanie, hustota osevu, produkcia biomasy, množstvo pozberových zvyškov a pod. Tieto údaje sa stanovili po dohodnutí oševného postupu na referenčnej ploche. Faktor rastlinného krytu  $C$  sme stanovili pre dva typy oševných postupov (DEMO, BIELEK 2000), a to:

Alternatíva 1: konvenčný oševný postup pre produkčné orné pôdy:

štruktúra plodín:

60 % obilniny

40 % krmoviny

striedanie plodín v oševnom postupe:

1. ďateľina lúčna
2. pšenica letná
3. raž siata
4. jačmeň siaty + medziplodina
5. ovos siaty na zelenú hmotu (podsev ďateľiny lúčnej)

Alternatíva 2: protierózny oševný postup pre produkčné orné pôdy:

štruktúra plodín:

50,0 % obilniny

23,3 % viacročné krmoviny

16,7 % jednoročné krmoviny

striedanie plodín v oševnom postupe:

1. ďatelinotrávna miešanka
2. ďatelinotrávna miešanka
3. pšenica letná
4. raž siaty
5. ozimná strukovinoobilná miešanka (po nej jarná miešanka)
6. jačmeň siaty (podsev ďatelinotrávnej miešanky)

Faktor spôsobu obhospodarovania P sme stanovili jednak pre konvenčnú orbu po spádnici a jednak pre protieróznú vrstevnicovú agrotechniku.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre modelovanie vplyvu klimatickej zmeny na hodnotu vodnej erózie pôdy je najdôležitejším ukazovateľom faktor erózneho účinku dažďa – R. Pre jeho výpočet sme použili takzvaný modifikovaný Fournierov index (ARNOLDUS 1977):

$$F = \sum_{i=1}^{12} p_i^2 / P$$

kde F je modifikovaný Fournierov index,  $p_i$  sú mesačné úhrny zrážok a P je ročný úhrn zrážok. R-faktor potom vypočítame zo vzťahov (RENARD, FREIDMUND 1994):

$$\mathbf{R-faktor = 0,07397F^{1,847}}$$

pre roky z ročným zrážkovým úhrnom menej ako 850 mm a

$$\mathbf{R-faktor = 95,77 - 6,081F + 0,4770F^2}$$

pre roky s ročným zrážkovým úhrnom viac ako 850 mm.

Pre overenie použiteľnosti Fournierovho indexu pre skúmané modelové územie sme vypočítali priemernú hodnotu R-faktora pre meteorologickú stanicu Jaslovské Bohunice v období rokov 1961-1990. Výsledná hodnota je 17,2 MJ.ha<sup>-1</sup>.cm.h<sup>-1</sup>. Ročné hodnoty R-faktora (MJ.ha<sup>-1</sup>.cm.h<sup>-1</sup>) vypočítané pre scenár klimatickej zmeny CCCM97 pre meteorologickú stanicu Jaslovské Bohunice sú uvedené v Tab. 2.

Na základe R-faktora sa vypočítala aj hodnota 10-ročného prívalového dažďa EI10 podľa vzťahu (RENARD, FREIDMUND 1994):

$$\mathbf{EI10 = 5,954(R-faktor)^{0,6987}}$$

Vypočítali sme parametre modelu RUSLE C, P a LS ako konštanty rovnaké pre každý rok prognózovaného obdobia. Ako premennú závislú od klimatických charakteristík sme vypočítali hodnoty faktora-R. Faktor K, ktorý tiež do istej miery závisí od klimatických ukazovateľov sa stanovuje priamo pri modelovaní. Faktor P sme vypočítali pre konvenčnú orbu po spádnici a pre potieróznú vrstevnicovú agrotechniku.

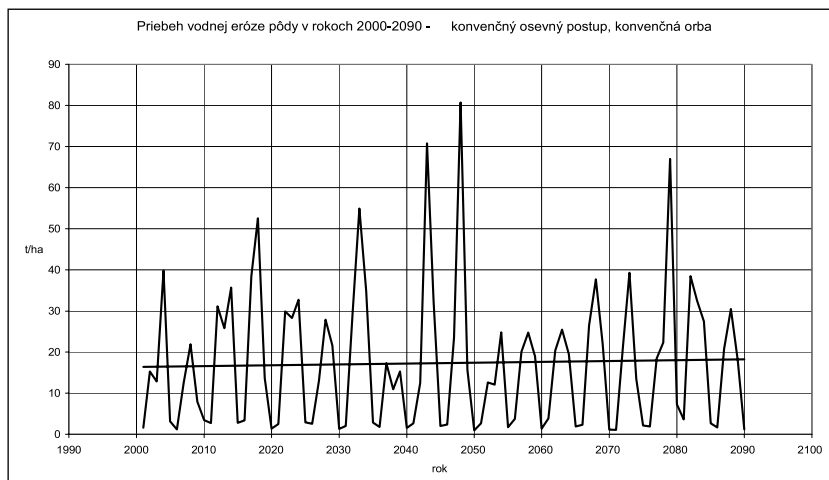
Výstupom modelu je základná informácia a kvantifikácia prognózy o priebehu plošnej vodnej erózie pôdy na referenčnej ploche Trnavskej sprašovej pahorkatiny vzhľadom na daný scenár predpokladaných klimatických parametrov.

**Tab. 2.** Ročné hodnoty R-faktora ( $MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$ ) vypočítané pre scenár klimatickej zmeny CCCM97 pre meteorologickú stanicu Jaslovské Bohunice

Rok	R-faktor	Rok	R-faktor	Rok	R-faktor	Rok	R-faktor
2001	12	2024	25	2047	23	2070	8
2002	15	2025	21	2048	51	2071	8
2003	8	2026	19	2049	12	2072	21
2004	31	2027	13	2050	7	2073	25
2005	23	2028	18	2051	19	2074	10
2006	9	2029	17	2052	12	2075	16
2007	12	2030	9	2053	8	2076	14
2008	14	2031	15	2054	19	2077	18
2009	6	2032	29	2055	12	2078	14
2010	25	2033	35	2056	27	2079	52
2011	20	2034	27	2057	20	2080	53
2012	31	2035	21	2058	16	2081	26
2013	16	2036	13	2059	15	2082	38
2014	28	2037	17	2060	10	2083	21
2015	20	2038	7	2061	28	2084	21
2016	24	2039	12	2062	20	2085	19
2017	38	2040	11	2063	16	2086	12
2018	33	2041	19	2064	15	2087	20
2019	11	2042	12	2065	14	2088	19
2020	10	2043	45	2066	17	2089	14
2021	18	2044	25	2067	26	2090	9
2022	29	2045	15	2068	24		
2023	18	2046	17	2069	17		

Výsledky modelovania sú znázornené na Obr. 3 a 4. Podľa modelového grafu (Obr. 3) pri simulácii konvenčného hospodárenia na pôde (Alternatíva 1) boli namodelované výrazne vyššie hodnoty vodnej erózie v rokoch s vysokou hodnotou erózneho účinku dažďa (R faktora), ako v ostatných rokoch. To znamená, že najvýraznejšie prejavy pôdnej erózie počas klimatickej zmeny boli zistené pri konvenčnom osevnom postupe (hlavne obilniny) a konvenčnej orbe, kde boli modelované hodnoty vodnej erózie s odnosom pôdneho materiálu 50-80  $t \cdot ha^{-1}$ . V časovom období rokov 2040-2050 a 2075-2080 možno očakávať extrémny erózný odnos, transport a akumuláciu pôdneho materiálu (až 80  $t \cdot ha^{-1}$ ).

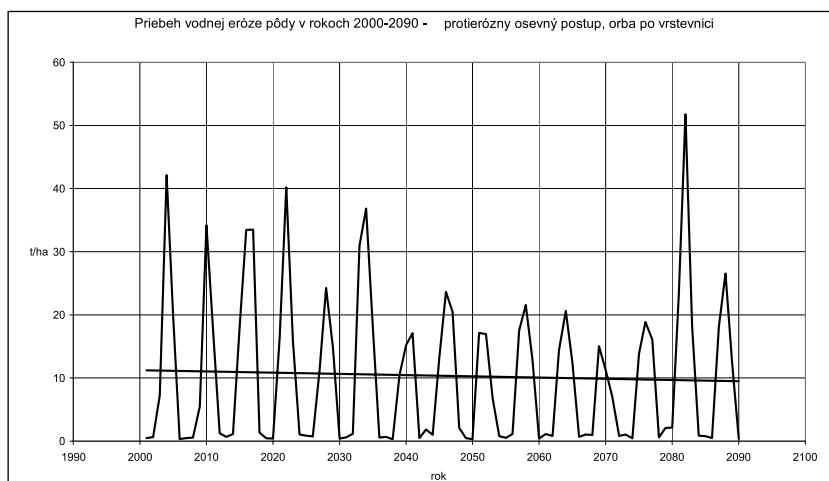
Domnievame sa, že v prípade konvenčného hospodárenia na pôde eróžno-akumulačné degradačné procesy budú prebiehať v nezmenšenej intenzite ako doteraz. Ich výrazné pôsobenie bude podobné ako v súčasnosti, t.j. pri predpokladanom výskyte náhlych búrkových zrážok v kombinácii s dlhšími obdobiami sucha (klimatický scenár). Je možné, že tieto epizodické javy budú prebiehať v silnejšej intenzite ako doteraz.



Obr. 3 *Priebeh vodnej erózie pôdy v rokoch 2000-2090 (alternatíva 1: konvenčný oševný postup, konvenčná orba)*

Alternatíva 2: simulácia proti-erózneho obrábania pôdy je znázornená na Obr. 4. Podľa modelového grafu priebeh vodnej erózie je výrazne slabší na úrovni okolo 5-20 t.ha<sup>-1</sup>. To znamená, že pri plodinách s dlhodobým protieróznym účinkom počas celej vegetácie (ďatelino-viny, ďatelino-trávne miešanky) bude hodnota vodnej erózie minimálna. Musíme konštatovať, že dôsledné používanie protieróznych opatrení (protierózny oševný postup a vrstevnicová agrotechnika) môže výrazne eliminovať deštruktívne účinky náhlych dažďov v budúcnosti. Vytvára sa predstava, že bez účinných protieróznych opatrení zavedených na erózne ohrozených plochách nebude možné toto ohrozenie zmenšiť. Na druhej strane treba poznamenať, že daný model je platný len do tej miery, aké vstupné údaje sú generované pre modelovanie.

Celkovo sa nepreukázal dlhodobý trend výrazného zvýšenia, či zníženia vodnej erózie



Obr. 4 *Priebeh vodnej erózie pôdy v rokoch 2000-2090 (alternatíva 2: protierózny oševný postup, orba po vrstevnici)*

pre hnedozeme trnavskej pahorkatiny pre roky 2001-2090. Hlavnou charakteristikou predikovaného obdobia klimatickej zmeny z hľadiska vodnej erózie bude výskyt náhlych búrkových zrážok prejavujúcich sa extrémne vysokou hodnotou erózie pri pestovaní plodín s menším protieróznym účinkom (obilniny).

## ZÁVER

Nastávajúca klimatická zmena prinesie v blízkej budúcnosti zvýšenie intenzity erózie a zosunov. Príčinami budú nastávajúce sucha, oslabujúce protierózný účinok rastlinného krytu a častejšie meteorologické anomálne javy – búrky a privalové dažde.

Podľa modelovaných výsledkov RUSLE eróznno-akumulačné degradačné procesy budú prebiehať v nezmenšenej intenzite ako doteraz. Ich výrazné pôsobenie bude podobné ako v súčasnosti, t.j. pri predpokladanom výskyte náhlych búrkových zrážok v kombinácii s dlhšími obdobiami sucha, kedy sa predpokladá aj zvýšená vodná erózia pôdy s nadnormálnym odnosom pôdneho materiálu. Doterajšie výsledky potvrdzujú, že v rokoch s vypočítanou vysokou hodnotou R faktora budú namodelované výrazne vyššie hodnoty vodnej erózie ako v ostatných rokoch. Ide o časové obdobie rokov 2040 - 2050 a 2075 - 2080, kedy možno očakávať extrémny erózný odnos, transport a akumuláciu pôdneho materiálu (až 80 t.ha<sup>-1</sup>).

Druhým výstupom je konštatovanie, že dôsledné používanie protieróznych opatrení (protierózný oševný postup a vrstevnicová agrotechnika) môže výrazným spôsobom eliminovať deštruktívne účinky náhlych dažďov. Najvýraznejšie prejavy pôdnej erózie boli zistené pri konvenčnom oševnom postupe (hlavne obilniny) a konvenčnej orbe, kde boli namodelované najvyššie hodnoty vodnej erózie s odnosom pôdneho materiálu 50 - 80 t.ha<sup>-1</sup>. Naopak pri plodinách s dlhodobým protieróznym účinkom počas celej vegetácie (ďatelinoviny, ďatelinotrávne miešanky) bola hodnota vodnej erózie minimálna.

Nízka úroveň politiky protieróznej ochrany pôdy nevytvára predpoklady pre účinné uplatňovanie protieróznych opatrení v praxi. Za hlavné zásady protieróznych opatrení možno považovať nasledovné:

- i) spôsob hospodárenia treba prispôsobiť charakteru obhospodarovaného pozemku takým spôsobom, aby bolo využívanie trvalo udržateľné;
- ii) hlavný prínos možno očakávať od agrotechnických opatrení, zásadou má byť zvýšenie pokryvnosť pôdy porastami, pozberovými rastlinnými zvyškami, alebo aplikovanou organickou hmotou.
- iii) zaviesť metódy obhospodarovania pôdy, ktoré zlepšujú jej kvalitu, teda hlavne zvýšenie obsahu a kvality organickej hmoty a zvýšenie hydraulickej vodivosti.

V rámci protieróznych opatrení bude potrebné implementovať a dôsledne uplatňovať zákon 220/2004 Z. z. O ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. V zákone § 5 Ochrana poľnohospodárskej pôdy pred eróziou sú určené podmienky ochrany. Vlastník alebo užívateľ pôdy je povinný vykonávať trvalú a účinnú protieróznou ochranu poľnohospodárskej pôdy vykonávaním ochranných agrotechnických opatrení podľa stupňa erózie poľnohospodárskej

---



pôdy, ktoré sú: výsadba účelovej poľnohospodárskej a ochrannej zelene; vrstevnicová agro-technika; striedanie plodín s ochranným účinkom; mulčovacia medziplodina kombinovaná s bezorbou technikou; bezorbávková agro-technika; oševné postupy so striedaním plodín s ochranným účinkom.

## LITERATÚRA

- ARNOLDUS, H. M. J. 1977. *Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco*. In *FAO Soil Bull.*, 1977, 34: 39-51.
- ČURLÍK, J., ŠURINA, B. 1998. *Príručka terénneho prieskumu a mapovania pôd*. Bratislava: VÚPÚ. 134 s. ISBN 80-85361-37-X
- DEMO, M., BIELEK, P. A kol. 2000. *Regulačné technológie v produkčnom procese poľnohospodárskych plodín*. Nitra: SPU. 648 s. ISBN 80-7137-732-5.
- FULAJTÁR, E. 1961. *Pôdy okresu Trnava*. Bratislava: Laboratórium pôdoznavectva. 86 s.
- FULAJTÁR, E., JANSKÝ, L. 2001. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. Bratislava: VÚPOP. 310 s. ISBN 80-85361-85-X.
- JAMBOR, P., ILAVSKÁ, B. 1998. *Metodika protierózneho obrábania pôdy*. Bratislava: VÚPÚ. 70 s. ISBN 80-85361-46-9.
- RENARD, K. G., FREIDMUND, J. R. 1994. *Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE*. In *Journal of hydrology*, 157, 1994, pp. 287-306.
- RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation*, Soil & Water Conservation Society, 1992.
- LAPIN, M. 2004. *Detection of changes in the regime of selected climatological elements at Hurbanovo*. In *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 2: 169-193.
- LAPIN, M., MELO, M. 2004. *Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results*. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 4: 224-238.
- SOBOCKÁ, J. 1999. *Dopady prognózovanej klimatickej zmeny na vlastnosti pôd Slovenska*. In *Zborník konferencie "Bioklimatické dni" 7.-9. 9. 1999 Zvolen*, s. 328-333.
- SOBOCKÁ, J., ŠURINA, B., TORMA, S., DODOK, R. 2005. *Klimatická zmena a jej možné dopady na pôdny fond Slovenska*. Bratislava: VÚPOP. 46 s. ISBN 80-89128-15-7.
- SOBOCKÁ, J., BALKOVIČ, J., DODOK, R. 2006. *Dôsledky klimatickej zmeny na životné prostredie a jeho zraniteľnosť z aspektu poľnohospodárskej výroby. Čiastková správa štátneho projektu 04: Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti*. Bratislava: VÚPOP. 33 s.
- ŠURINA, B. 1999. *Prognóza vývoja pôd SR podľa poznatkov o doterajších pedoklimatických zmenách*. In *Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie Atmosféra 21. storočia, organizmy a ekosystémy*. Zvolen: Technická univerzita. s. 10
- ŠURINA, B., SOBOCKÁ, J. 1998. *Identifikácia možných dopadov zmien klímy na vlastnosti pôd SR. Záverečná správa*. Bratislava: VÚPÚ. 38 s., tab., príl.
- ŠURINA, B., ČURLÍK, J., SOBOCKÁ, J. 1996. *Identifikácia možných dopadov zmien klímy na vlastnosti pôd SR, I. časť. Záverečná správa úlohy: Dopady prognózovaných zmien klímy na vlastnosti a funkcie pôdneho pokryvu SR*. Bratislava: VÚPÚ. 60 s.
- TAKÁČ, J. A kol. 2006. *Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti. Záverečná správa štátneho projektu*. Bratislava: Hydrometeorológia, š.p.
- TOMLAIN, J. 1997. *Modelový výpočet dôsledkov očakávanej zmeny klímy na obsah vody v pôde na Slovensku*. In *Národný klimatický program SR, IV, zv. 7*. Bratislava: MŽP SR, SHMÚ, s. 68-83
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. 1978. *Predicting rainfall-erosion losses – a guide to conservation planning*. Agriculture Handbook No. 537. Washington: USDA. 85 p.

# PRIORITNÉ A DEFICITNÉ POĽNOHOSPODÁRSKE OBLASTI V KATASTRÁLNOM ÚZEMÍ OBCE OPONICE URČENÉ PEDOLOGICKÝMI CHARAKTERISTIKAMI

## PREFERRED AND DEFICIT AGRICULTURAL AREAS IN CADASTRAL AREA OF OPONICE VILLAGE DEFINED BY PEDOLOGICAL CHARACTERISTICS

**Marek Sobola<sup>1</sup>, Pavol BIELEK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Katedra trvalo udržateľného rozvoja FEŠRR SPU v Nitre*

<sup>2</sup>*Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava*

### ABSTRACT

The aim of the paper is to present the results of a PhD. thesis. The thesis is focused on revitalization of the Oponice region – a part of the Oponice village cadastral area. We define and evaluate pedological characteristics as one of the endogenous sources of area that can have significant influence on development of agrarian land, even in a negative way. During the research an inventory has been made and the evaluated pedological characteristics have been graphically transferred into the map outputs. We have localized preferred and deficit areas of the cadaster of Oponice village by identification of intersection of pedological characteristics, while considering Territorial system of ecological stability (TSES) and Protected bird area Tríbeč (PBA).

**KEYWORDS:** Pedological characteristics, endogenous sources, Territorial system of ecological stability, PBA Tríbeč, Oponice village, agriculture, micro region

### ABSTRAKT

Cieľom príspevku je prezentovať výsledky dizertačnej práce zameranej na obnovu mikroregiónu Oponice – časti katastrálneho územia obce Oponice. V príspevku charakterizujeme a hodnotíme pedologické charakteristiky ako jeden z endogénnych zdrojov územia, ktorý môže významne ovplyvniť rozvoj poľnohospodársky využívaného územia, a to nielen pozitívne. Počas výskumu sme zinventarizovali a zhodnotili pedologické charakteristiky, ktoré sme graficky spracovali v mapových výstupoch s následným prekrytím. Identifikáciou prienikov pedologických charakteristík s prihliadnutím na ÚSES a rešpektovaním CHVÚ Tríbeč sme do-

---

speli k lokalizácii prioritných a deficitných oblastí záujmového územia – katastra obce Oponice.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** Pedologické charakteristiky, endogénne zdroje, ÚSES, Oponice, CHVÚ Tríbeč, mikroregión

## ÚVOD

Najvýznamnejším prírodným zdrojom poľnohospodárskej krajiny je pôda. Hospodárením a využívaním poľnohospodárskych plôch dochádza k pozitívnym ale aj negatívnym následkom takejto činnosti. Identifikáciou a následným spracovaním pedologických charakteristík do mapových výstupov a ich prekrytím je možná lokalizácia pozitívnych a negatívnych území. Takýto výstup je dôležitý pre budúci projekt pozemkových úprav a optimálneho využitia poľnohospodárskej pôdy. Endogénny rozvoj vidieka musí predovšetkým vychádzať z dokonalého poznania konkrétneho územia, jeho zdrojov a možností. Jedným z najdôležitejších nástrojov obnovy sú prírodné zdroje a environmentálne vplyvy prostredia. Využitie prírodných zdrojov, kde pôda jednu z najvýznamnejších funkcií, vystupuje ako základný faktor akéhokoľvek rozvoja a využitia krajiny.

## MATERIÁL A METÓDY

Pod pojmom prioritné poľnohospodárske územie rozumieme také územie, na ktorom má sledovaná pedologická charakteristika najlepší dopad na poľnohospodársku výrobu (napríklad: rovinatá oblasť, vysoký produkčný potenciál pôd a pod.) a teda je vhodné tieto územia prioritne poľnohospodársky využívať. Pod pojmom deficitné poľnohospodárske územie rozumieme také územie, ktoré predstavuje obmedzenia z hľadiska poľnohospodárskej výroby (vyššia spotreba PHM strojov pri obrábaní svahovitých pozemkov, použitie väčšieho množstva hnojív pri chudobných pôdach, nutné proti erózne opatrenia). Na týchto deficitných územiach je nutné vstupovať do výroby s vyššími finančnými prostriedkami, o ktoré sa môžu znížiť konečné výnosy poľnohospodárskej produkcie.

Na určenie prioritných a deficitných poľnohospodárskych oblastí v záujmovom území – katastri obce Oponice sme skúmali nasledovné pedologické charakteristiky (údaje sme získali z VÚPOP Bratislava):

- pôdy v záujmovom území,
  - produkčný potenciál,
  - bonitovaná pôdno-ekologická jednotka,
  - cena pôdy,
  - pôdny fond,
  - pôdne sondy,
-

- nitrátová direktíva,
- náchylnosť pôdy na eróziu,
- náchylnosť pôdy na zhutnenie,
- LPIS (Land Parcel Identiffication system),
- Poľnohospodársky znevýhodnené oblasti (LFA),
- vhodnosť pôd pre pestovanie poľnohospodárskych plodín.

Dôležitým aspektom, ktorý bolo potrebné rešpektovať pri vyhodnocovaní záujmového územia boli environmentálne charakteristiky:

- územia spadajúce pod štátnu ochranu prírody (ŠOPSR, OÚ Oponice),
- územný systém ekologickej stability.

Základnými metodickými postupmi pre dosiahnutie cieľov dizertačnej práce sú nasledovné metódy:

- metóda terénneho prieskumu a výskumu,
- metóda diaľkového prieskumu Zeme,
- metóda prekrytia získaných údajov.

Na vyhodnotenie prioritných a deficitných oblastí záujmového územia sme použili prekrytie vybraných mapových výstupov týchto pedologických charakteristík:

- produkčný potenciál (najproduktívnejšie, 81-90 bodov a pôdy s najnižšou produkciou 21-30 bodov),
- pôdny fond (najvhodnejšie pôdy tvorí primárny a sekundárny pôdny fond, najmenej vhodné pôdy pre poľnohospodársku produkciu ostatný pôdny fond),
- nitrátová direktíva (A bez obmedzenia, B s čiastočným obmedzením),
- svahovitosť kultúrnych dielov (svahovitosť 0-7 rovina až mierny svah a 7-12 svah, až extrémny svah),
- náchylnosť pôdy na vodnú eróziu (pôdy bez, alebo s čiastočným ohrozením a pôdy bez ohrozenia).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Predmet výskumu

Predmetom výskumu sú pedologické charakteristiky katastrálneho územia obce Oponice. Obec Oponice leží 26,6 km od mesta Nitra a 15,9 km južne od Topolčian v nadmorskej výške od 155 do 250 m n. m. (stred obce 168 m n. m. so zemepisnými súradnicami 48° 28' – severnej zemepisnej šírky, a 18° 09' – zemepisnej dĺžky). Obec Oponice leží v strednej časti toku rieky Nitra. Obec je situovaná v rovinatej oblasti, ktorá je obklopená z jednej strany zalesneným územím, Západná časť územia tvorí pomerne široká niva rieky Nitra s miestami, v ktorých vystupuje hladina podzemnej vody na povrch a buď trvalo, alebo sezónne zamokruje väčšie,

---

alebo menšie plochy. Východná časť je členitejšia, jej povrch akoby bol modelovaný do mier-  
nych svahov, ktoré smerom na východ nadobúdajú na svahovitosti. Tieto tvoria úpätie Veľkého  
Tribča (829 m), najvyššieho vrchu Tribečského pohoria. Južnou časťou obce preteká v smere  
východ – západ Oponický potok, ktorý je ľavostranným prítokom rieky Nitra. Rozloha katastra  
záujmového územia je 1229 ha:

poľnohospodárska pôda – 756 ha,  
orná pôda – 657 ha,  
chmeľnice – 0 ha,  
vinice – 38 ha,  
záhrady – 18 ha,  
ovocné sady – 40 ha,  
lúky a pasienky – 3 ha,  
lesná pôda – 366 ha,  
vodné plochy – 32 ha,  
zastavané plochy – 37 ha,  
ostatné plochy – 38 ha.

Z agronomického hľadiska je terén výhodný na využitie všetkých mechanizačných pros-  
triedkov, hlavne v rovinatej časti, kým vo svažitých partiách je ich využitie obmedzenejšie.

### **Pôdy v záujmovom území**

Pôdny typ je základnou identifikačnou kategóriou geneticko – agronomickej a tiež mor-  
fogenetickej klasifikácie pôd. Zahŕňa v sebe skupinu pôd charakterizovanú rovnakou stra-  
tigrafiou pôdneho profilu, t. j. určitou kombináciou diagnostických horizontov, ako výsledok  
kvalitatívne špecifického typu pôdotvorného procesu, ktorý sa vyvíjal a vyvíja v rovnorodých  
hydrotermických podmienkach pod približne rovnakou vegetáciou. V katastrálnom území sme  
zistili 5 pôdných typov a 1 subtyp (Tabuľka 1):

- pôdny typ černozezem typická (ČMm)
  - pôdny typ hnedozezem typická (HMm)
  - pôdny typ kambizezem typická nasýtená (KMmn)
  - pôdny typ rendzina typická (RAm)
  - pôdny typ fluvizezem typická (FMm)
  - subtyp fluvizezem glejová
-

**Tab. 1. Typy pôd a ich výmera v obci Oponice**

Pôdny typ	Výmera (ha)	% z PP	
02 – fluvizem typická	0,66	27,69	35,44
06 – fluvizem typická	138,97		
07 – fluvizem typická	71,98		
11 – fluvizem glejová	1,84	7,75	
12 – fluvizem glejová	0,17		
13 – fluvizem glejová	57,22		
38 – černoziem typická	79,81	51,57	
33,277,4146 – hnedozem typická 23,3475 – kambizem 16,302,4283 – kambizem 2,2687 – rendzina typická 8,073,1692 – rendzina typická 16,0739 – černoziem typická	314,20		
PP44 - hnedozem typická	764,16		
ostatné	464,67	37,79	
SPOLU	1228,83	100,00	
Zdroj: vlastné spracovanie 02 – kód hlavnej pôdnej jednotky			

Z percentuálneho vyjadrenia výmery jednotlivých typov pôd (Tabuľka 1) vyplýva, že najväčšie zastúpenie v škále pôdnych typov majú černoziem. Môžeme teda zhodnotiť, že v obci Oponice dominujú vysoko kvalitné pôdy, vhodné na pestovanie najnáročnejších poľnohospodárskych plodín. Pôdy vynikajú hĺbkou profilu, úrodnosťou, kompaktnosťou a nie sú kontaminované nežiaducimi prvkami.

### Produkčný potenciál

Bodové vyjadrenie produkčného potenciálu vychádza zo 100 bodovej stupnice, pričom 100 bodov je pridelených najúrodnejším černoziem čiernicovým a čierniciam typickým nachádzajúcim sa v teplom, veľmi produkčnom, nížinnom regióne.

Pôdy záujmového územia sú vysoko produktívne (Tabuľka 21; Príloha, Mapa 4) na väčšine výmery poľnohospodárskej pôdy v sledovanom území. Len 16,03 % pôd je nižšej produktivity, ale táto hodnota z polovice dosahuje 50 bodov, čo je priemerná hodnota produktivity poľnohospodárskych pôd v hornatých regiónoch severného Slovenska. Môžeme teda zhodnotiť, že pôdy v katastrálnom území obce Oponice, vďaka svojmu vysokému potenciálu úrodnosti sú predurčené na výrobu základných potravín, alebo zeleniny. Bolo by pre územie výhodné, aby sa tento trend – výroba základných potravín aj udržal. Na základe týchto skutočností by bolo akékoľvek vyňatie poľnohospodárskej pôdy z pôdneho fondu (napr. pre stavebné účely) nevhodné.

### Bonitovaná pôdno-ekologická jednotka

Sústava Bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek je v riešenom území veľmi bohatá. Na základe štruktúry BPEJ vyjadrenej číselným kódom vyplýva, že až 70,82 % pôd je v rovine a 25,00 % pôd na mierne svahovitej dispozícii. Skeletovitosť pôd je až z 94,40 % nulová a zni-

tosť z 80,00 % dosiahla v stupnici 1-5 hodnotu 2. Môžeme teda dospieť k záveru, že väčšina pôd, resp. obrábané plochy (hony) v riešenom území sú veľmi dobre dostupné akýmkoľvek mechanizačným prostriedkom a tieto prostriedky nie sú obmedzované ani pri samotnom spracovaní pôdy.

### **Cena pôdy**

Cena pôdy pre podnikateľské subjekty a verejný priestor nie sú v záujmovom území priaznivé. Približne 50 % pôd je v cenovej relácii od 81.100,- až 100.400,- za hektár poľnohospodárskej pôdy. Čo je isté obmedzenie z cenového hľadiska, ale na druhej strane vyvážené vysokým produkčným potenciálom týchto pôd. Pôdy v cenových kategóriách 0 Sk až 1,7 Sk za hektár a 1,71 Sk až 4,9 Sk za hektár (Pozn.: o žiadnej pôde nemožno hovoriť, že má „nulovú“ hodnotu. Pri cene pôdy je vhodnejšie použiť termín „od najnižšej hodnoty pôdy“. V našom prípade „nulová“ hodnota pôdy vychádza z poľnohospodárskych charakteristík, BPEJ a produkčného potenciálu pôd. Trhová cena je samozrejme odlišná), ktorých zastúpenie tvorí asi 3,40 % by potenciálne mohli byť využité na iné, ako poľnohospodárske účely, sú však dosť svahovité. Cena PP, OP, TTP je v rámci Nitrianskeho kraja patrí medzi najnižšie.

### **Pôdny fond**

Primárny pôdny fond tvorí 95 % z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy. Z toho vyplýva, že pôdy v záujmovom území sú strategicky dôležité pre výrobu základných potravín, teda poľnohospodárska výroba je predurčená pre priame poľnohospodárske využitie. Sekundárny pôdny fond je zastúpený asi 4% z celkovej výmery PP, a jeho využitie je rovnaké, avšak obmedzenejšie (hnojenie, mechanizačné postupy) ako primárny pôdny fond. Ostatný pôdny fond, ktorého výmera nepresahuje 1 % z celkovej výmery PP, by mohol potencióálne byť využitý napríklad pre pestovanie energetických drevín, alebo alternatívnych plodín. Keďže v záujmovom území majú tieto pôdy horšiu dostupnosť mechanizačných prostriedkov, môžu byť využité pre turistické, či rozšírenie intravilánu.

### **Pôdne sondy**

Pri hodnotení prvkov sond geochemického atlasu bolo zistené, že žiadny zo sledovaných prvkov nemá nadlimitnú hodnotu, teda môžeme povedať, že pôdy v katastrálnom území Oponice nie sú kontaminované ťažkými kovmi, či inými nežiaducimi prvkami. Nezistili sme ani iné obmedzujúce faktory chemického zloženia pôd záujmového územia.

### **Nitrátová direktíva**

V zraniteľných oblastiach sa na základe súboru pôdnych, hydrologických, geografických a ekologických parametrov určili pre každý poľnohospodársky subjekt tri kategórie obmedzení hospodárenia (VÚPOP 2007):

- **kategória A** – produkčné bloky s najnižším stupňom obmedzenia hospodárenia,
  - **kategória B** – produkčné bloky so stredným stupňom obmedzenia hospodárenia,
  - **kategória C** – produkčné bloky s najvyšším stupňom obmedzenia hospodárenia.
-

Poľnohospodárska pôda v záujmovom území poľnohospodársky zaujímavá a perspektívna, spadá však aj pod kategóriu B, čo znamená obmedzenie poľnohospodárskej výroby v riešenom území z hľadiska hnojenia. Z toho vyplýva menšie využitie pôdneho potenciálu a ohrozenie vodných zdrojov. V katastri obce Oponice sú dva vodné zdroje, na ktoré je napojený verejný obecný vodovod. Pôvodný vodný zdroj sa nachádza v juhovýchodnej časti záujmového územia v lesnom poraste, odkiaľ je samospádom vedený do vodojemu v obci Súlovce. Miesto prvého vodného zdroja sa nachádza v lese a nie na ornej pôde, bližšie sa touto plochou nezaobráme. Keďže tento vodný zdroj svojou výdatnosťou nepostačoval, bola obnovená bývalá zámocká studňa na produkčnom bloku 3303/1, ktorá sa nachádza na území, ktoré spadá pod kategóriu A, čo znamená potenciálne nebezpečenstvo znečistenia podzemného vodného zdroja nitrátmi. Povrchové vody – povodia rieky Nitra a Oponického potoka susedia z pôdou v kategórii B, čo predstavuje nebezpečenstvo znečistenia povrchových vôd nitrátmi. Na týchto poľnohospodárskych plochách je potrebné presne dodržiavať agrochemické zásahy, aby nedochádzalo k uvoľňovaniu nitrátov do povodí povrchových vôd. Taktiež je potrebné dôsledne dodržiavať pokyny pre používanie chemických prostriedkov v rámci chránenej oblasti – Chránené vtáčie územie Tribeč.

### **Náchylnosť pôdy na eróziu**

Riziko vodnej erózie je na 96 % územia minimálne až žiadne. Na 4 % (30,56 ha) územia je náchylnosť na vodnú eróziu silná, až extrémne silná. Je to dané hlavne svahovitosťou pozemkov. Na týchto ohrozených plochách je obmedzenie z hľadiska agrotechnických zásahov a palety poľnohospodárskych plodín, ktoré by bolo možné na týchto plochách pestovať. Je potrebné dodržiavať agrotechnické zásahy a postupy a robiť proti erózne opatrenia. Cena týchto pozemkov z hľadiska poľnohospodárskej produkcie je nižšia, čo otvára možnosti inému, ako poľnohospodárskemu využitiu, prípadne pestovaniu alternatívnych druhov plodín. Riziko vetrernej erózie na sledovanom území nie je žiadne.

### **Náchylnosť pôdy na zhutnenie**

Riziko zhutnenia je na sledovanom území v norme, primárna náchylnosť PP na zhutnenie je približne na 20 % plochy. Pre zníženie tohto stavu je potrebné dôsledné dodržiavanie agrotechnických zásahov.

### **LPIS**

V záujmovom území je lokalizovaných 57 kultúrnych blokov. Podľa výmery sme ich rozdelili nasledovne:

- malý (0 – 50 ha),
- stredný (50 – 150 ha),
- veľký (nad 150 ha).

Malých produkčných blokov je v záujmovom území 48, stredných 8 a veľký 1. Produkčné bloky sú určené na poľnohospodárske účely ako orná pôda, prípadne poľnohospodárska pôda

---



bližšie neurčená, ďalej na pestovanie viníc, ovocných sádov a TTP, čo aj zodpovedá skutočnému využívaniu produkčných blokov.

### **Poľnohospodársky znevýhodnené oblasti (LFA)**

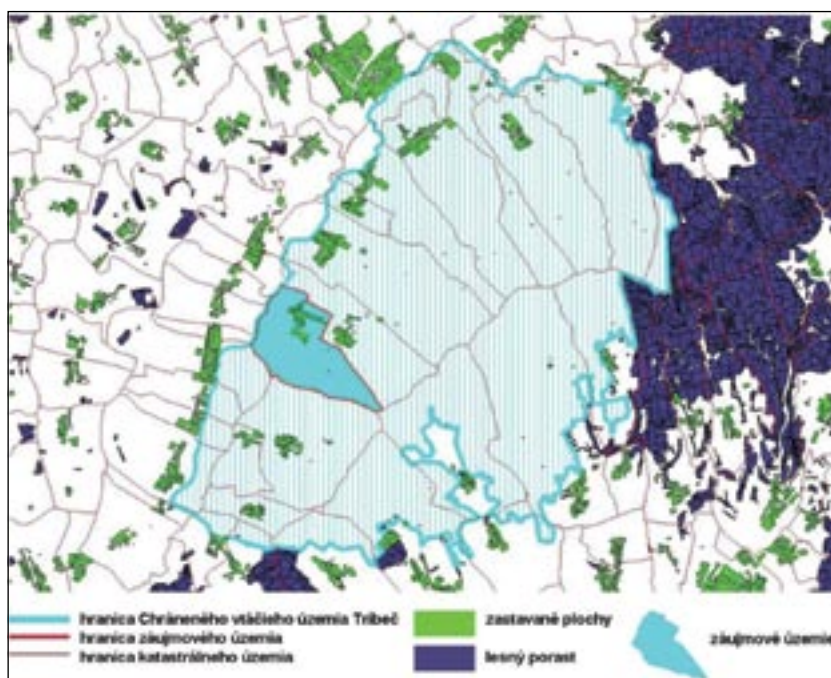
Zájmové územie nespadá do znevýhodnených poľnohospodárskych oblastí, čo predstavuje isté obmedzenie z hľadiska dotačných prostriedkov. To znamená, že nakoľko v záujmovom území nie sú lokalizované znevýhodnené poľnohospodárske oblasti, dotačné prostriedky, zohľadňujúce znevýhodnenú dispozíciu, budú v záujmovom území minimálne až žiadne.

### **Vhodnosť pôd pre pestovanie poľnohospodárskych plodín**

V záujmovom území sme sledovali vhodnosť pestovania kukurice na zrno a repky olejnej. Približne polovica pôd je vhodných svojím produkčným potenciálom a dispozíciou vhodných pre pestovanie kukurice a skoro 90 % je vhodných pre pestovanie repky olejnej. Pestovanie repky má perspektívu hlavne pre výrobu biopalív. Nakoľko však pestovanie základných potravín v mikroregióne svojou dôležitosťou potláča význam pestovania repky, túto plodinu možno pestovať aj v severnejších oblastiach Slovenska. Tak isto nespadá územie ani pod vybrané plochy pre pestovanie rýchlorastúcich drevín.

### **Lokalizácia objektov spadajúcich pod ŠOPSR**

V okolí riešeného územia sme zinventarizovali niektoré chránené. Zájmové územie sa nachádza v tesnej blízkosti CHKO Ponitrie, jednej prírodnej pamiatky a 3 Národných prírod-



Obr. 1. Chránené vtáčie územie Trábeč (Zdroj: ŠOPSR 2007)

ných rezervácií. Čo predstavuje základ turistického potenciálu záujmového územia. Najvýznamnejším zinventarizovaným chráneným územím je Chránené vtáčie územie (CHVÚ) Trábeč s celoeurópskym významom, do ktorého spadá **celé záujmové územie** (Obrázok 1). Základné zložky životného prostredia záujmového územia (ovzdušie, voda, a pôda) sú vyhovujúce aj vďaka tomu, že v blízkosti neprebíha žiadna priemyselná činnosť. Rieka Nitra pretekajúca záujmovým územím je zaradená do V. triedy čistoty. Jej prítoky sú znečisťované splaškovými vodami obce. Nie je taktiež lokalizovaná žiadna lokalita s kontaminovanou pôdou. Radónové riziko je nízke.

### Územný systém ekologickej stability Oponíc

Na základe podrobného prieskumu v teréne s ohľadom na klimatické, geologicko-litologické, hydrologické a pedologické podmienky, taktiež s ohľadom na druh pôdy, svahovitosť, expozíciu a existujúcu zeleň bolo v roku 1995 navrhnutých niekoľko ekologicky stabilizačných prvkov (PAVUK 1995). Tieto krajinné prvky boli navrhnuté na základe už existujúcich postupov pre realizáciu ÚSES na poľnohospodárskom pôdnom fonde. Vzhľadom na to, že záujmové územie je tvorené prevažne ornou pôdou, koeficient ekologickej stability je veľmi nízky ( $KES = 0,114$ ), čo znamená vysoko nestabilizovanú krajinu. Pre takýto typ krajiny je nevyhnutné navrhnúť ekologicky stabilizačné prvky, aby sa zamedzilo nepriaznivým účinkom na zmenu krajiny. Navrhovanie ÚSES Oponice sa zameralo na výsadbu novej zelene pozdĺž ciest, vodných kanálov a remízok. Zeleň bola navrhnutá v optimálnom druhovom zložení, ktoré vychádzalo z pôvodnej vegetácie, aby nedošlo k narušeniu krajiny. Celková plocha novovysadenej zelene podľa tohto projektu by bola 16,21 ha, čo by pomohlo zvýšiť koeficient ekologickej stability a tým by sa zabránilo eróznym účinkom a devastácii pôdy. Účelom navrhnutého projektu bolo viesť k ekologickej šetrnosti v záujmovom území.

### Určenie prioritných a deficitných poľnohospodárskych oblastí

Po komplexnom zhodnotení pôdneho fondu – typy, produkčnosť, svahovitosť, nebezpečenstvo erózie a pod. sme dospeli k názoru, že záujmové územie je z hľadiska poľnohospodárskej výroby zaujímavé. Sledované územie disponuje pôdami s vysokým produkčným potenciálom, kvalitou pôdnych typov s obmedzeným ohrozením z erózného hľadiska a zhutnenia pôdy. Záujmové územie má optimálne klimatické podmienky – teplota počas veľkého vegetačného obdobia, svetelné podmienky a hladina podzemnej vody je pomerne vysoko. To znamená, že pôdy majú predpoklad vysokých úrod a teda aj s následným premietnutím do zisku z poľnohospodárskej podnikateľskej činnosti.

Na druhej strane sme zistili niekoľko obmedzujúcich faktorov poľnohospodárskeho a podnikateľského využitia územia:

- koeficient ekologickej stability je veľmi nízky ( $KES = 0,114$ ), čo znamená vysoko nestabilizovanú krajinu z hľadiska ohrozenia eróziou pôdy.
- celé záujmové územie, s výnimkou intravilánu spadá pod Chránené vtáčie územie Trábeč (CHVÚ), čo znamená veľké obmedzenia z hľadiska termínov jednotlivých ag-

rotechnických a agrochemických zásahov, či použitia chemických prípravkov na ošetrovanie porastov:

- rozorávanie trvalých trávnych porastov okrem ich obnovy,
- obnovovanie trvalých trávnych porastov nepôvodnými druhmi tráv,
- zmena druhu pozemku z existujúceho trvalého trávneho porastu na iný druh pozemku,
- mechanizované kosenie trvalých trávnych porastov na súvislej ploche väčšej ako 0,5 hektára spôsobom od okrajov do stredu,
- aplikovanie insekticídov a herbicídov na trvalých trávnych porastoch, drevinách rastúcich mimo lesa, neobhospodarovaných plochách na poľnohospodárskej pôde, v mokradiach, vetrolamoch a medziach okrem odstraňovania invázných druhov
- aplikovanie umelých hnojív a pesticídov na neobhospodarovaných plochách (najmä okraje ciest a komunikácií, skládky hnoja) v období od 1. marca do 31. júla.

Údaje získané z vybraných mapových výstupov sme uložili na seba a po prekrytí sledovaných vrstiev pedologických charakteristík sme dospeli k názoru, že 2/3 záujmového územia sú bezproblémové z hľadiska poľnohospodárskej výroby (nie však z hľadiska limitujúcich faktorov CHVÚ). ¼ záujmového územia sme vyhodnotili ako deficitné. Najlimitujúcejším faktorom je nitrátová direktíva a riziko vodnej erózie na sledovaných plochách. Najrizikovejšie plochy je vhodné využívať iným, ako poľnohospodárskym spôsobom, napr. zalesnenie, zatrávenie a podobne.

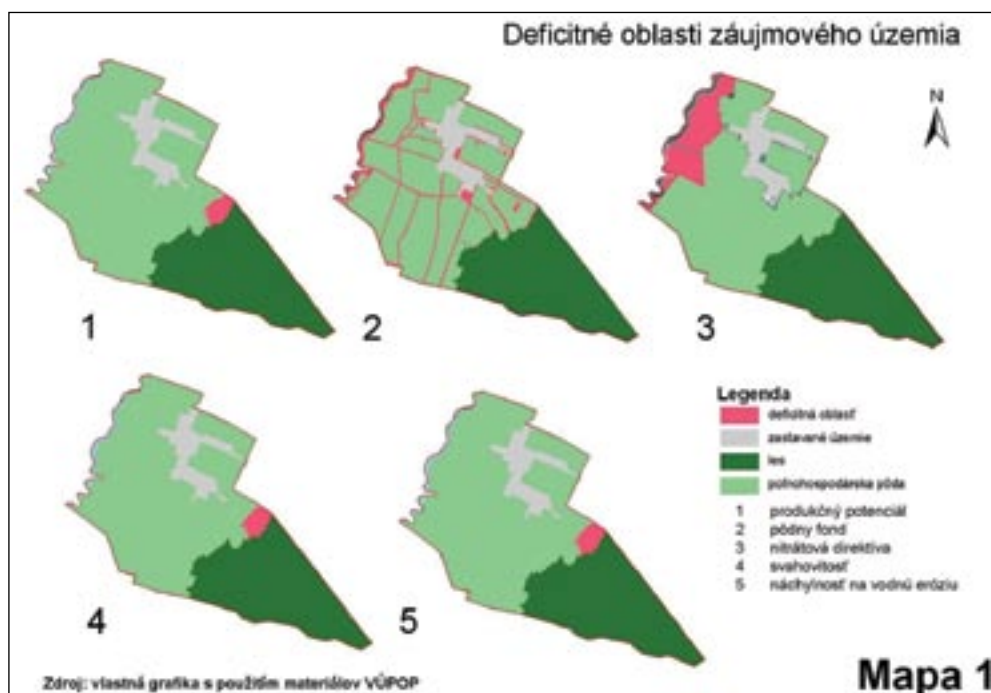
## ZÁVERY

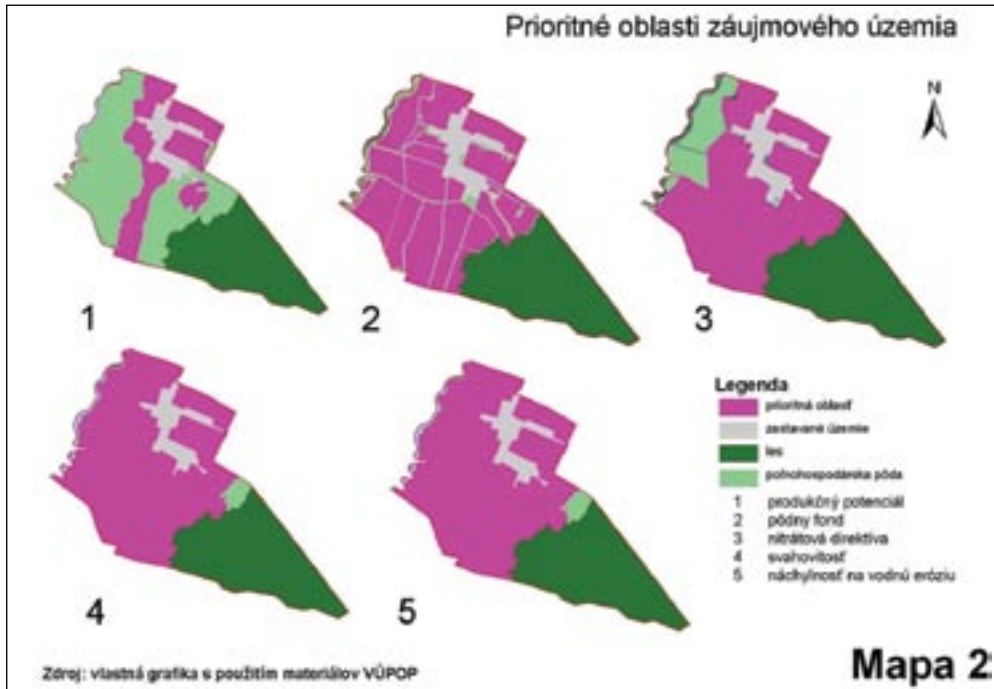
Obmedzujúcim faktorom poľnohospodárskej výroby je nielen zaradenie záujmového územia do CHVÚ Tríbeč, ale aj nízka hodnota ekologickej stability krajiny ( $KES = 0,114$ ). Pri dodržaní správnych agrotechnických a agrochemických zásahov, ako aj správny výber kultúr, či zalesnenie nevhodných plôch ornej pôdy, a rešpektovaním obmedzení CHVÚ možno dospieť k zvýšeniu koeficientu ekologickej stability záujmového územia a symbióze využitia poľnohospodárskej krajiny s ochranou CHVÚ. Kritickým územím z hľadiska poľnohospodárskeho využitia záujmového územia je plocha na hranici PP s lesným porastom vo východnej časti územia (Mapa 3), ktoré je vyznačené tmavomodrou farbou. Jeho poľnohospodársku nevyužitelnosť podčiarkuje hranica s lesom z dôvodu vyšších obmedzení CHVÚ. Toto územie jednoznačne odporúčame zalesniť vhodnou kultúrou. Za primárne poľnohospodárske oblasti považujeme všetky pozitívne oblasti, ktoré sú vyhodnotené v mape 4. Vzhľadom na súčasný stav využívania poľnohospodárskych pozemkov (niektoré územia sú využívané nevhodne) je potrebné riešenie tohto stavu prostredníctvom projektovej a programovej prípravy. Pre optimálne využívanie poľnohospodárskej pôdy odporúčame modernizáciu a optimalizáciu poľnohospodárskej

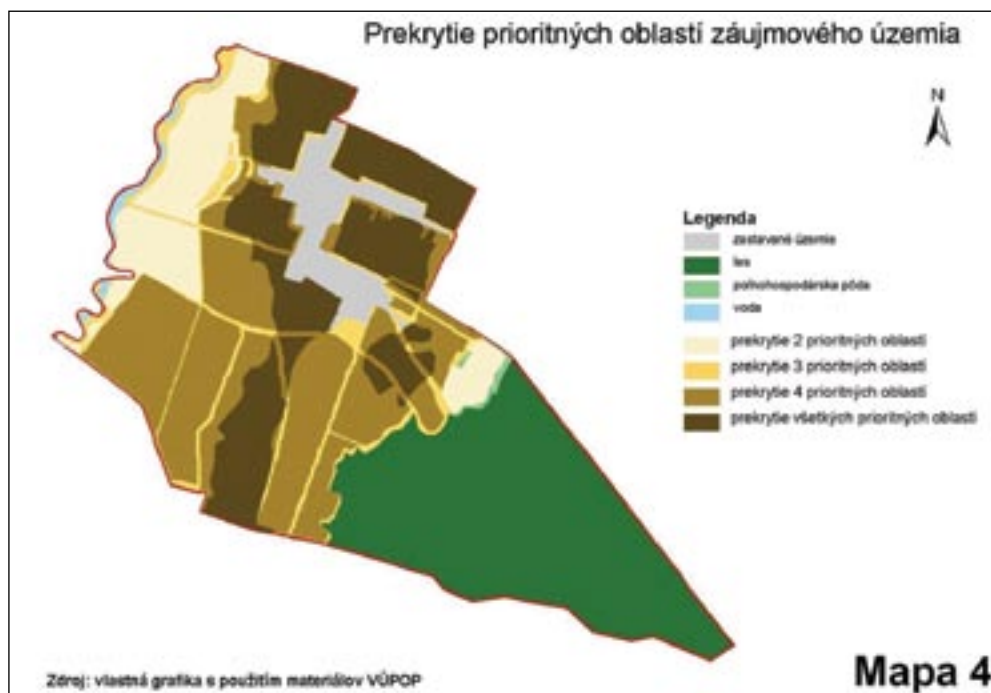
výroby so zreteľom na územný systém ekologickej stability krajiny a skvalitnenie vidieckeho prostredia. Vhodne programovaná projektová príprava orientovaná na zmeny vo využívaní deficitných oblastí pôdneho fondu (Mapa 1), umožní optimálne využívanie prioritných poľnohospodárskych plôch (Mapa 2) v súvislosti s obnovou a údržbou krajiny, či s hospodárením v zhode s miestnymi podmienkami a rešpektovaním návrhov ÚSES.

Odporúčania pre optimálne využívanie poľnohospodárskeho pôdneho fondu:

- zalesnenie nevýhodných (deficitných) kultúrnych dielov,
- pestovanie rýchlorastúcich drevín na menej hodnotných kultúrnych dieloch,
- pozemky s nižšou bonitnou hodnotou je možné využiť na netradičné odvetvia rastlinnej výroby (ovocinárstvo, sadovnícke škôľkarstvo),
- zabezpečenie územného plánovania, ktoré bude komplexne riešiť využívanie všetkých zložiek pôdneho fondu,
- hospodárenie v krajine v zmysle obnovy vidieckeho prostredia,
- hospodárenie v súlade s CHVÚ a ÚSES.







## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK V TEXTE

CHVÚ	Chránené vtáčie územie (tu: Tribeč)
PP	poľnohospodárska pôda
ŠOPSR	Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky
ÚSES	územný systém ekologickej stability
VÚPOP	Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava

## LITERATÚRA

- Abaffy, D. A i. 2002. *Atlas krajiny Slovenskej republiky. 1. vyd.* Bratislava, Ministerstvo životného prostredia, 2002. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- Bielek, P. – Šurina B. – Ilavská, B. – Vilček, J. 1998. *Naše pôdy.* Bratislava, VÚPOP, 1998. S 82. ISBN 80-85361-42-6.
- Demo, M. – Bielek, P. – Hronec, O. 1999. *Trvalo udržateľný rozvoj.* Nitra, SPU, 1999. str.251. ISBN 80-7137-611-6.
- Demo, M. a i. 1998. *Usporiadanie a využívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine. 1. vyd.* Nitra, SPU. Bratislava, VÚPOP, 1998. 302 s. ISBN 80-7137-525-X.
- Demo, M. – Bielek, P. A i. 2000. *Regulačné technológie v produkčnom procese poľnohospodárskych plodín.* Nitra: SPU. Bratislava, VÚPOP, 2000. 648 s. ISBN 80-7137-732-5.
- Džatko a i. 2001. *Produkčný potenciál poľnohospodárskych pôd* [online]. 2007 [cit. 2007-06-02]. Dostupné na internete: [http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/bh\\_pp/bh.aspx](http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/bh_pp/bh.aspx)
- Pavuk, O. *Riešenie územného systému ekologickej stability: diplomová práca.* Nitra, VŠP, 1995. 55 s.
- Sobola, M. *Projekt obnovy a revitalizácie mikroregiónu Oponice a jeho dopad na tvorbu služieb obyvateľstvu a zamestnanosť. Dizertačná práca.* Nitra, SPU, 2007. 213 s.

# VYJADRENIE ERÓZNEJ OHROZENOSTI POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD SR VYUŽITÍM MODELU USLE

## ASSESSMENT OF SOIL SENSITIVITY TO WATER EROSION USING USLE MODEL (IN THE SCALE OF SLOVAKIA)

**Ján STYK, Boris PÁLKA**

*Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava,  
Regionálne pracovisko Banská Bystrica  
styk.vupop@bystrica.sk, palka.vupop@bystrica.sk*

### ABSTRACT

Assessment of larger area (in the regional scale) from the sensitivity of soil to water erosion point of view is relatively exacting process because erosion is a result of mutual impact of more erosive factors. It is very important (if we want to assess a large area) using sufficient quantity of data and information (related to individual erosive factors) for adequate value of final output.

We have been using (in this study) the model of Universal Soil Loss Equation (USLE) in GIS technique on characterisation of larger region from the long-term prediction of farmland vulnerability to erosion point of view. This model was modified for soil-climatic condition of Slovakia. Output is a generated digital layer of potential soil erosion (sensitivity of soil to erosion).

Potential erosion expresses a possible (theoretical) vulnerability of soil by water erosion if we don't take into account an actual vegetation cover. In fact, it is only information on the worst possible situation which could be happened on the soil (in case of water erosion).

It may be said that (on the basis of obtained areas of erosivity categories of agricultural soils) that almost 43.3% of farmland (of the total area) is more or less potentially influenced by water erosion (erosivity categories from medium to extremely high). Soils affected by extremely erosion are mostly located on the steep slopes. If we don't take into account an actual vegetation cover (in the case of steep slopes is going on permanent grass) the area of extremely erosion category is relatively high (20.3%). It is predominantly going about the agricultural soils of mountainous and submountainous regions predominantly.

**KEYWORDS:** potential soil erosion, erosive factors, USLE, GIS

---



## ABSTRAKT

Zhodnotenie väčšieho územia (v regionálnej mierke) z hľadiska senzitivity pôdy na eróziou je pomerne náročný proces vzhľadom k tomu, že erózia je výsledkom vzájomného spolupôsobenia viacerých faktorov. Pri väčších mierkach je dôležité vychádzať z dostatočného množstva dát a informácií (týkajúcich sa erózných faktorov) pre zabezpečenie dostatočnej výpovednej hodnoty záverečných výstupov.

Na charakteristiku väčšieho regiónu z pohľadu dlhodobej predikcie erózneho ohrozenia poľnohospodárskej pôdy sme v predkladanej práci pracovali s modelom Univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty (USLE) v prostredí GIS, ktorý bol modifikovaný pre pôdnoklimatické podmienky Slovenska. Výsledkom je vygenerovaná digitálna vrstva informujúca o potenciálnej ohrozenia poľnohospodárskych pôd procesmi vodnej erózie.

Potenciálna erózia vyjadruje možnú (teoretickú) ohrozenosť pôdy v prípade ak sa na nej nenachádza žiadny vegetačný kryt. Nie je zohľadnený protierózný ochranný vplyv rastlín. V podstate ide o informáciu o najhoršej možnej situácii ktorá môže na poľnohospodárskej pôde vzniknúť.

Na základe získaných výmer erodovanosti poľnohospodárskych pôd je takmer 43,3% poľnohospodárskej pôdy (z celkového PPF) viac či menej potenciálne ohrozených vodnou eróziou (kategórie erodovanosti od strednej po extrémnu). Pôdy ohrozené extrémnou eróziou sa nachádzajú väčšinou na výrazných svahoch. Pri nezohľadnení ochranného vplyvu rastlinného krytu (na výrazných svahoch väčšinou trvalé trávne porasty) predstavuje výmera kategórie extrémnej erózie pomerne vysoké číslo (20,3 %). Jedná sa predovšetkým o poľnohospodársku pôdu horských a podhorských oblastí.

**Kľúčové slová:** potenciálna erózia pôdy, erózne faktory, USLE, GIS

## ÚVOD

Erózia pôdy je fyzikálny fenomén, ktorého výsledkom je odstránenie (premiestnenie) častíc pôdnej hmoty vplyvom vody, vetra, ľadu (topiaceho sa snehu) a gravitácie. Samotný erózný proces zahŕňa čiastkové subprocesy, ktorými je pôdny materiál uvoľnený (dezintegrácia pôdneho povrchu), transportovaný (po pôdnom povrchu) a sedimentovaný (v svahových depresiách). Má veľký význam pri modelovaní reliéfu krajiny ako aj pri degradácii úrodnotvorných vlastností poľnohospodárskych pôd. V súčasnej dobe sa pôdna erózia zaraďuje k najzávažnejším environmentálnym problémom s priamym dopadom na poľnohospodárstvo a životné prostredie.

Je známych mnoho definícií pôdnej erózie a medzi najvýstižnejšie patrí charakteristika erózneho procesu od ECKELMANNA ET AL. (2006): Erózia pôdy je odnos pôdneho povrchu fyzikálnymi silami ako sú dážď, tečúca voda, vietor, ľad, gravitácia, zmena teploty a inými prirodzenými alebo antropogénymi činiteľmi, ktoré uvoľňujú, premiestňujú a akumulujú pôdny a geologický materiál.

Výsledkom negatívneho pôsobenia erózných procesov v krajine sú často ireverzibilné

zmeny fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy (BIELEK, 1996). Organická hmota a živiny sú pomerne pevne fixované na povrchy jemného koloidného podielu pôdnej hmoty. Pri erózii dochádza k ich transportu (spolu z časticami pôdy) z erózných častí svahov. Výsledkom je znižovanie hĺbky pôdneho profilu (predovšetkým biologicky aktívnej vrstvy pôdy), úbytku organickej hmoty a živín a rovnako aj zhoršovaniu pôdnej štruktúry.

Pôdna erózia je prirodzený proces, ktorý je v posledných dekádach výrazne akcelerovaný neuváženou činnosťou človeka. Z pohľadu dlhodobého negatívneho efektu na produkčnú schopnosť pôdy a tým pádom aj na udržateľné poľnohospodárstvo je erózia pôdy chápaná ako významná environmentálna hrozba.

## MATERIÁL A METÓDY

Pre zhodnocovanie väčších území z pohľadu ohrozenosti poľnohospodárskych pôd eróznymi procesmi sa v posledných rokoch vo veľkej miere využívajú tzv. erózne a predikčné modely. Najširšie uplatnenie (z množstva používaných modelov) majú modely USLE (WISCHMEIER, SMITH, 1978), RUSLE (RENARD, ET AL., 1997) a PESERA (KIRKBY, ET AL., 2004) v podmienkach GIS. Všetky uvedené modelovacie techniky boli vyvinuté za účelom zhodnotiť stratu pôdnej hmoty spôsobenú procesmi vodnej erózie. Základná štruktúra týchto modelov je postavená na kombinácii faktorov významne ovplyvňujúcich vznik a priebeh erózneho procesu:

- náchylnosť pôdy byť erodovaná: erodibilita pôdy
- vplyv nadbytku zrážok: erozivita dažďa
- ochrana pôdy rastlinným krytom
- vplyv reliéfu (svahovitosť a dĺžka svahu)

Pre generovanie mapy potenciálnej ohrozenosti poľnohospodárskych pôd SR vodnou eróziou sme využili model USLE – univerzálna rovnica straty pôdnej hmoty (WISCHMEIER, SMITH, 1978) modifikovaný pre podmienky Slovenska v prostredí GIS. Potenciálna erózia pôdy vyjadruje jej možnú (teoretickú) ohrozenosť v prípade ak sa na pôde nenachádza žiadny vegetačný kryt (nezoľhadňujeme protieróznym ochranným vplyvom rastlín). Je to informácia o najhoršej možnej situácii ktorá môže na poľnohospodárskej pôde vzniknúť (ŠŮRI, ET AL., 2002).

V štúdiu sme sa zamerali na vyjadrenie potenciálnej ohrozenosti pôd vyjadrenej kategóriami erodovanosti v rámci celého územia SR. Rovnica potenciálnej straty pôdnej hmoty je vyjadrená súčinom dvoch priamych (R, K) a dvoch nepriamych (L, S) faktorov:

$$A=R \times K \times L \times S$$

kde:

**A** – priemerná potenciálna ročná strata pôdy v tonách z hektára

**R** – faktor erózneho účinnosti dažďa (erozivita dažďa) je definovaný ako súčin energie dažďa a jeho najväčšej 30-minútovej intenzity

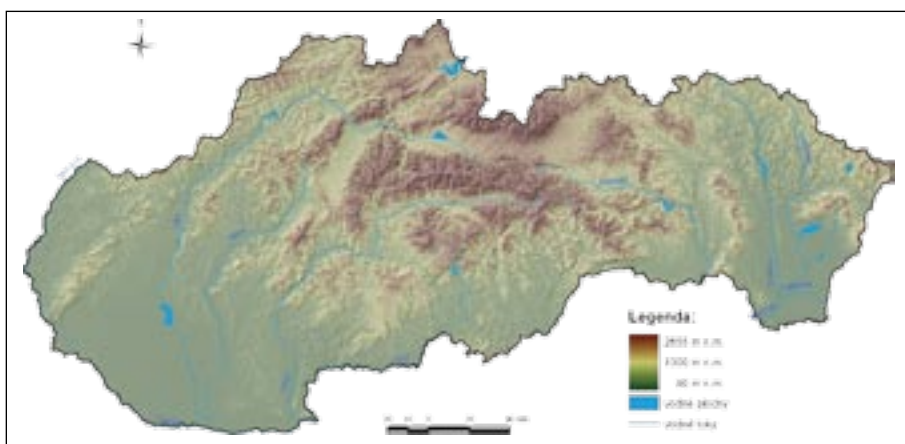
**K** – faktor náchylnosti pôdy na vodnú eróziu (erodibilita pôdy) je ovplyvnený základnými parametrami ako sú napr. zrnitosť, štruktúra pôdy, obsah organickej hmoty

**L** – faktor dĺžky svahu vyjadruje pomer straty pôdy z plochy určitej dĺžky ku strate pôdy z plochy so štandardnou dĺžkou 22,13 m

**S** – faktor sklonu svahu vyjadruje pomer straty pôdy z plochy s určitým sklonom ku strate pôdy z plochy so štandardným sklonom 9%

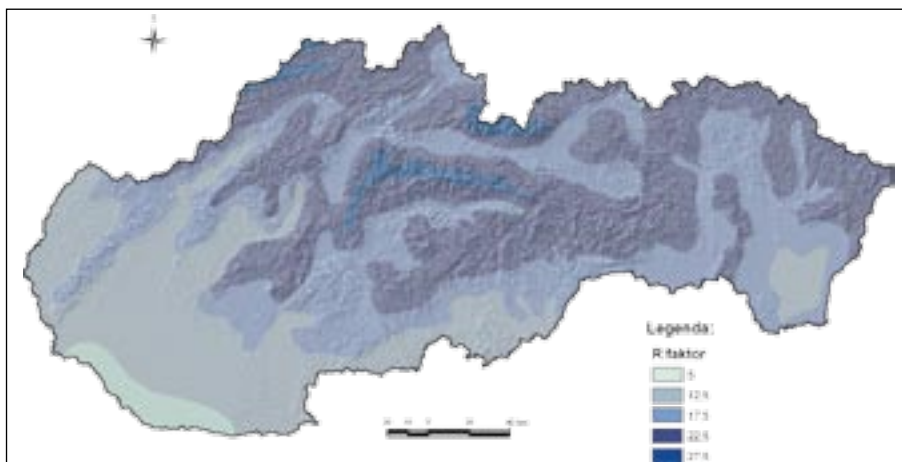
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Podklady pre tvorbu digitálneho modelu reliéfu SR ako aj digitálne vrstvy SVM 50 (spojitá vektorová mapa 1:50 000) sme získali z Ústavu geodézie, kartografie a katastra v Bratislave. Veľkosť rozlíšenia bunky rastra je 20 m. Toto rozlíšenie je dostatočné pre presnejšie modelovanie reliéfu krajiny. Z poskytnutého gridu bol prostredníctvom geografického informačného systému vytvorený tieňovaný reliéf (hillshade), ktorý slúži ako vhodný podklad pre jednotlivé digitálne vrstvy erózných faktorov a výslednej mapy potenciálneho ohrozenia pôdy vodnou eróziou (mapa 1).



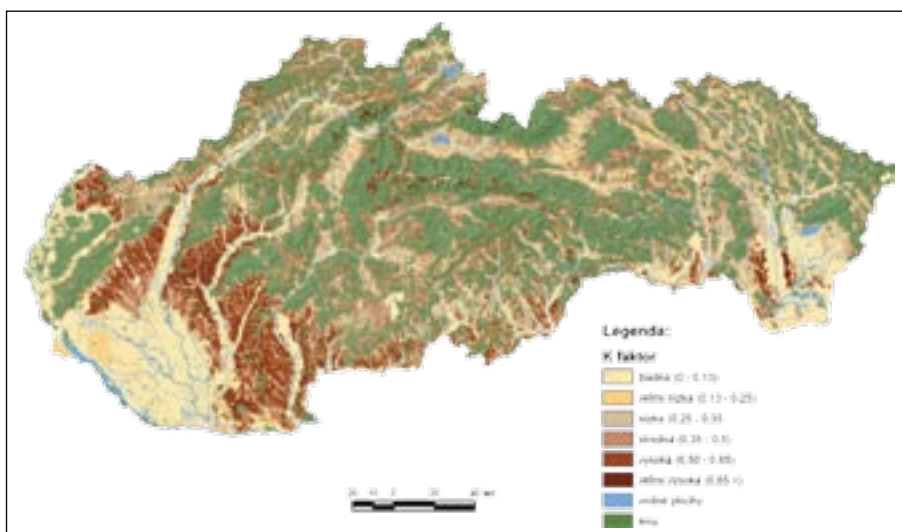
Mapa 1 Digitálny model reliéfu SR

Digitálna vrstva faktora R (erozivita dažďa) bola vygenerovaná vzájomným prekrytím vrstiev digitálneho modelu reliéfu, mapy klimatických regiónov SR a mapy priemerných ročných úhrnov zrážok (HRNČIAROVÁ ET AL., 2002). Vzniknutú digitálnu vrstvu sme doplnili konkrétnymi údajmi R-faktora z 86-tich ombrografických staníc (MALÍSEK, 1992). Hodnoty R-faktora nám poslúžili ako podklad pre vyčlenenie jednotlivých polygónov, ktoré sú charakteristické priemernou hodnotou eróznej účinnosti dažďa (STYK, PÁLKA, 2005). Celá vrstva bola následne prevedená do rastrovej podoby (mapa 2).



Mapa 2 R – faktor (erózna účinnosť dažďa)

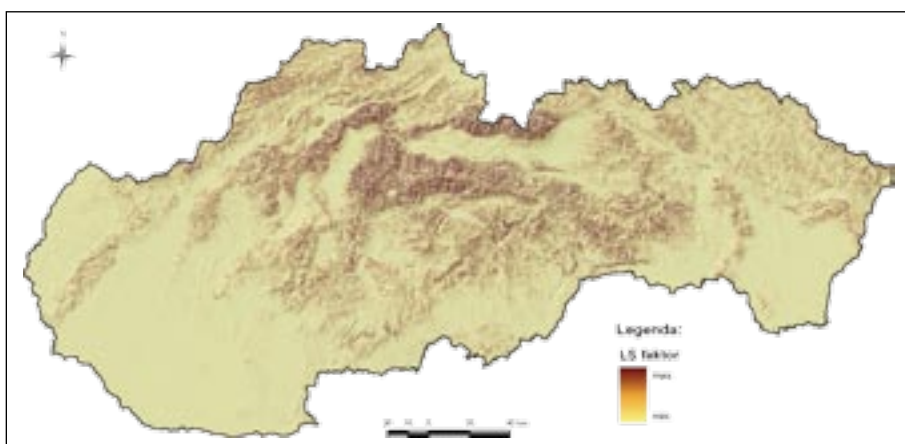
Vrstva erodovateľnosti pôdy (K-faktor) bola vygenerovaná na základe využitia konkrétnych hodnôt faktora K, ktoré sú odvodené priamo zo 7-miestneho kódu bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ). 3 a 4 miesto kódu BPEJ určuje pôdny typ resp. subtyp. Pre každý pôdny typ (subtyp) bola vypočítaná numerická hodnota K-faktora, ktorá zohľadňuje obsah organickej hmoty, zrnitosť pôdy, pôdnu štruktúru a priepustnosť (Ilavská, Jambor, Lazúr, 2005). Pri tvorbe digitálnej vrstvy K-faktora sme využili vektorizovanú vrstvu PEU DB (databáza pôdnoekologických jednotiek), ktorá obsahuje areály jednotlivých bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (mapa 3).



Mapa 3 k – faktor (erodovateľnosť pôdy)

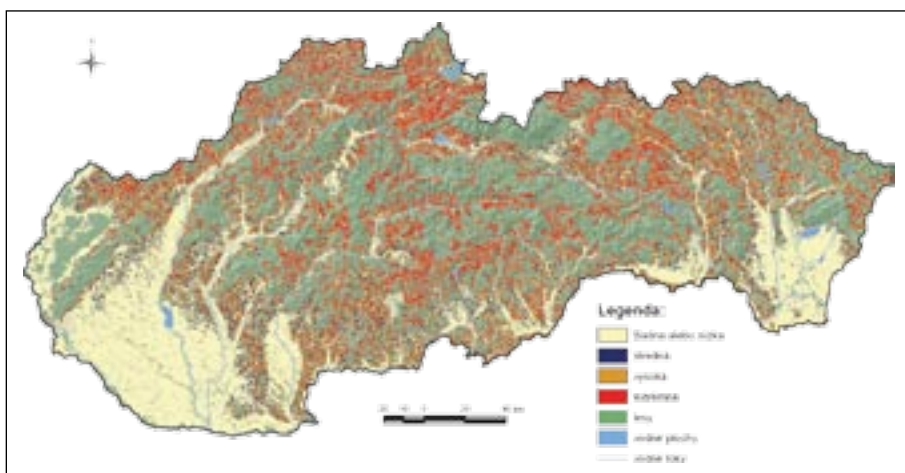
V GIS-e boli z digitálnej vrstvy modelu reliéfu odvodené reálne hodnoty svahovitosti (v percentách) pre konkrétne svahy, ktoré sa následne využili vo vzorci na výpočet s faktora podľa metodiky Wischmeier-Smith (1978).

Ako podklad pri výpočte L faktora (dĺžky svahov) bol využitý detailizovaný digitálny model reliéfu SR. Pomocou špeciálnych analytických nástrojov GIS-u sme vypočítali reálnu dĺžku jednotlivých svahov na celom území SR. Následne bola v Spatial Analyst-e reklasifikovaná svahovitosť do jednotlivých tried. Získané numerické hodnoty svahovitosti a konkrétnej dĺžky svahov sa dosadili do vzorca na výpočet L-faktora v zhode s metodikou podľa Wischmeier-Smitha (1978). Výsledná mapa faktorov vplyvu reliéfu vznikla vzájomným prekrytím digitálnych vrstiev faktorov L a S.



Mapa 4 LS – faktor (vplyv reliéfu)

Vygenerovaná digitálna vrstva potenciálnej ohrozenosti poľnohospodárskych pôd vodnou eróziou (mapa 5) vznikla prekrytím všetkých vytvorených vrstiev erózy faktorov v zho-



Mapa 5 Potenciálna ohrozenosť poľnohospodárskych pôd SR vodnou eróziou

de s modelom USLE. Všetky numerické a grafické operácie boli spracované v GIS-e ArcMap 9.0 s použitím jednotlivých nadstavb pre prácu s rastrom (Spatial Analyst a Raster Calculator). Pre všetky digitálne vrstvy bol použitý ako podklad vytieňovaný reliéf (hillshade) vytvorený z DMR pričom rozlíšenie jednotlivých gridov je 20 m.

Potenciálne ohrozená poľnohospodárska pôda procesmi vodnej erózie predstavuje 43,3% z aktuálnej výmery PPF. Pri tvorbe mapy sme neuvažovali s faktorom ochranného krytu vegetácie, ktorá má v niektorých prípadoch výrazný protierózny účinok (trvalé trávne porasty na výrazných svahoch horských a podhorských oblastí). Výmera kategórie extrémnej erodovanosti (20,3%) predstavuje pomerne vysoké číslo (tab. 1). Do úvahy musíme zobrať skutočnosť, že pri tvorbe mapy ohrozenosti pôdy eróziou sme neuvažovali s faktorom ochranného krytu vegetácie, ktorá má v niektorých prípadoch výrazný protierózny účinok. Konkrétne sa jedná o pôdu nachádzajúcu sa na výrazných svahoch horských a podhorských oblastí, ktorá je pokrytá trávnymi porastami.

**Tab. 1. Kategórie erodovanosti poľnohospodárskych pôd SR**

Kategórie erodovanosti	Výmera v ha	% z PPF
Žiadna, alebo nízka	1 378 697	56,7
Stredná	227 392	9,3
Vysoká	332 519	13,7
Extrémna	494 371	20,3
Spolu	2 432 979	100

## ZÁVER

Hodnotiť senzitivitu pôdy podliehať erózii je pomerne náročné vzhľadom k tomu, že erózia je výsledkom vzájomného spolupôsobenia viacerých faktorov. Pri charakteristike územia z pohľadu eróznej ohrozenosti poľnohospodárskej pôdy sme v predkladanej práci využívali model Univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty (USLE) v prostredí GIS modifikovaný pre pôdno-klimatické podmienky Slovenska. Výsledkom je vygenerovaná digitálna vrstva podávajúca informáciu o potenciálnej ohrozenosti poľnohospodárskych pôd procesmi vodnej erózie.

Digitálna vrstva potenciálnej ohrozenosti poľnohospodárskych pôd SR vodnou eróziou vznikla prekrytím vygenerovaných vrstiev jednotlivých erózných faktorov. Kategórie erodovanosti boli vyčlenené na základe hraničných hodnôt, ktoré sú pre jednotlivé kategórie nasledovné:

- žiadna alebo nízka: 0-4 t/ha/rok
- stredná: 4-10 t/ha/rok
- vysoká: 10-30 t/ha/rok
- extrémna: >30 t/ha/rok

Pre zhodnotenie výmer jednotlivých kategórií eróznej ohrozenosti poľnohospodárskej

pôdy sme vychádzali z rozlíšenia gridu 20 m a počtu buniek gridu zastúpených v jednotlivých kategóriách. Zo získaných výsledkov (výmery kategórií erodovanosti) vyplýva, že takmer 43,3% poľnohospodárskej pôdy je potenciálne ohrozené vodnou eróziou (rôznej intenzity).

Pôdy ohrozené extrémnou eróziou sa nachádzajú väčšinou na výrazných svahoch. Pri nezohľadnení ochranného vplyvu rastlinného krytu (na výrazných svahoch väčšinou trvalé trávne porasty) predstavuje výmera kategórie extrémnej erózie pomerne vysoké číslo (20,3 %). Jedná sa predovšetkým o poľnohospodársku pôdu horských a podhorských oblastí.

## LITERATÚRA

- BIELEK, P. 1996. *Ochrana pôdy. Kódex správnej poľnohospodárskej praxe v Slovenskej republike*. Bratislava: VÚPOP. 54 s. ISBN 80-85361-21-3.
- ECKELMAN, W., BARITZ, R., BIALOUSZ, S., BIELEK, P., CARRE, F., HOUŠKOVÁ, B., JONES, R.J.A., KIBBLEWHITE, M.G., KOZÁK, J., LE BAS, C., TÓTH, T., VÁRALLYAY, G., YLI HALLA, M., ZUPAN, M. 2006. *Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. European Soil Bureau Research Report No.20, EUR 22185 EN*, Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities. 94 pp.
- HRNČIAROVÁ, T. A kol. 2002. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*, Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SROV. 344 s. ISBN 80-88833-27-2.
- ILAVSKÁ, B., JAMBOR, P., LAZÚR, R. 2005. *Metodická príručka. Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení*. Bratislava: VÚPOP. 60 s. ISBN 80-89128-22-X.
- KIRKBY, M. J., JONES, R. J. A., IRVINE, B., GOBIN, A., GOVERS, G., CERDAN, O., VAN ROMPAEY, A. J. J., LE BISSONNAIS, Y., DAROUSSIN, J., KING, D., MONTANARELLA, L., GRIMM, M., VIELLEFONT, V., PIUGDEFABREGAS, J., BOER, M., KOSMAS, C., YASSOGLOU, N., TSARA, M., MANTEL, S., VAN LYNDEN, G.J., HUTING, J. *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73*. European Soil Bureau Research Report No.16, Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg, 2004, 18 pp.
- MALÍŠEK, A. 1992. *Optimal slope length in dependent on water erosion*. In JAMBOR, P. A kol. *Vedecké práce 17*. Bratislava: VÚPÚ, s. 201-220.
- RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D. K., YODER, D. C. *Predicting soil erosion by water – a guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. US Department of Agriculture Research Service, 1997, 404 pp.
- STYK, J., PÁLKA, B. *Potenciálna ohrozenosť poľnohospodárskych pôd SR vodnou eróziou vyhodnotená využitím empirického modelu USLE*. In: Sobocká, J. et al. *Zborník prednášok. VII. zjazd Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV (pedologická sekcia)*. VÚPOP, Bratislava, 2005, s. 73-77.
- ŠÚRI, M., CEBECAUER, T., HOFIERKA, J., FULAJTÁR, E. *Soil erosion assessment of Slovakia at a regional Scale using GIS*. Ecology, Bratislava, 2002, Vol. 21, No. 4, p. 404-422.
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning*, Agricultural Handbook 537, USDA, 1978, 58 pp.

# RIZIKO VYPLAVOVANIA DUSIČNANOV Z POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD – PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA LEHNICE

## NITRATE LEACHING RISK FROM THE AGRICULTURAL SOILS – CASE STUDY LEHNICE

**Jozef TAKÁČ**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava, e-mail: takac@vupu.sk*

### ABSTRACT

The main objective of this paper is to evaluate the nitrate leaching risk from the farm Lehnice as well as to evaluate its spatial variability. The study is based on the simulation by agroecological model DAISY. Simulations were carried out for usual crop rotation and local management practise. Maize was the dominating crop in the simulated crop rotation. Autumn as well as spring application of manure was considered and compared. All simulations were carried out with and without irrigation.

It was concluded that the nitrate leaching is determined in the first order by soil properties. Leaching frequently arises in the winter half year. In the summer half year, leaching occurs rarely due to generally large evaporative demand and water deficiency. Irrigation forces crop growth and higher crop nitrogen uptake and in this way irrigation helps to reduce nitrate leaching.

**KEYWORDS:** model DAISY, fertilisation, crop rotation, irrigation, nitrate leaching

### ABSTRAKT

Cieľom tohto príspevku je vyhodnotiť vyplavovanie dusičnanov v modelovom poľnohospodárskom podniku Lehnice a odhadnúť jeho priestorovú diferenciáciu. Riešenie prípadovej štúdie bolo založené na simuláciách agroekologickým modelom DAISY. Simulácie sa uskutočnili pre viacero osevných postupov zostavenými na základe praxe zaužívanej v RD Lehnice. Najčastejšie zastúpenou plodinou v simulovaných osevných postupoch bola kukurica. V simuláciách bolo uvažované s jesennou aj jarnou aplikáciou maštalného hnoja. Všetky simulácie boli vykonané so závlahou aj bez závlahy.

Na základe získaných výsledkov bolo konštatované, že rýchlosť a množstvo vyplavených dusičnanov je determinované pôdnymi vlastnosťami. K vyplavovaniu dusičnanom dochádza

---



hlavne v chladnom polroku. V letnom polroku v dôsledku prevládajúceho výparného režimu a nedostatku vody v pôde dochádza k vyplavovaniu dusičnanov len zriedkavo. Závlaha prispieva k lepšiemu vývoju porastu a využitiu dusíka a tým napomáha k zníženiu množstva vyplavených dusičnanov z pôdy.

**Kľúčové slová:** model DAISY, hnojenie, osevný postup, závlaha, dusičnany

## ÚVOD

V ostatných desaťročiach patrila medzi najdiskutovanejšie environmentálne témy problematika znečisťovania podzemných a povrchových vôd z poľnohospodárskej výroby. Nevhodné hospodárenie na pôde môže ohroziť kvalitu podzemných vôd. Z tohto hľadiska je veľmi zraniteľná oblasť Žitného ostrova, ktorá je so svojimi zásobami podzemných vôd pokladaná za územie najbohatšie na zásoby podzemných vôd. Tento región je zároveň najvýznamnejším poľnohospodárskym regiónom Slovenska, prebieha v ňom intenzívna hospodárska činnosť, ktorá determinuje charakter krajiny.

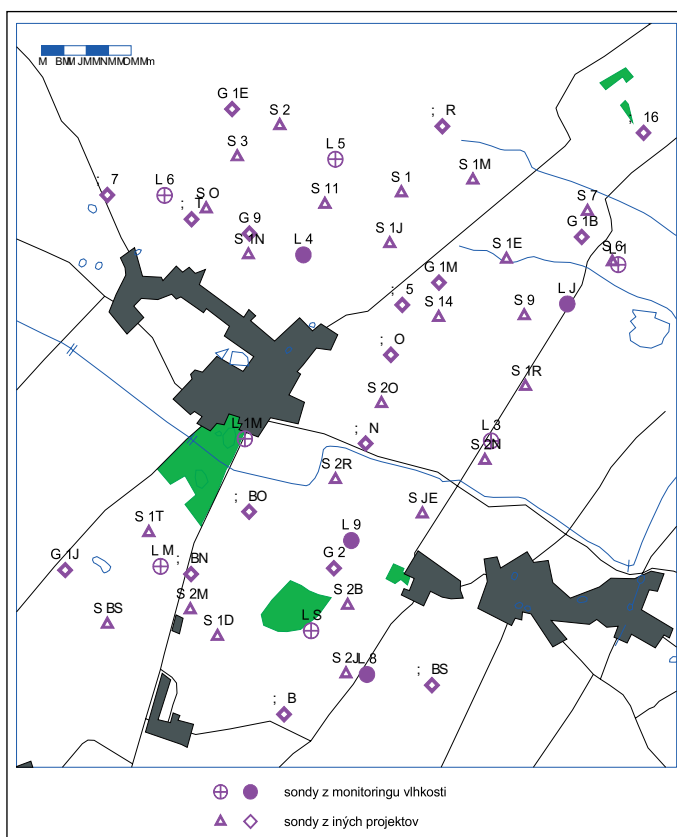
Oblasť Žitného ostrova bola stredobodom záujmu hlavne v súvislosti s výstavbou a prevádzkou VD Gabčíkovo. V tejto súvislosti tu bolo riešených niekoľko významných vedeckých projektov a dodnes sa tu vykonáva monitoring prírodného prostredia. Jedným z najvýznamnejších projektov riešených v oblasti Žitného ostrova bol projekt Európskej komisie PHARE/EC/WAT/1 Danubian Lowland Ground Water Model (DHI ET AL., 1995, TAKÁČ A KOŠČ, 1995), v rámci ktorého bol hodnotený aj vplyv poľnohospodárskej výroby na kvalitu podzemných vôd pred a po uvedení vodného diela do prevádzky. Riešenie bolo založené na numerických simuláciách modelom DAISY s využitím GIS. Pôdne vlastnosti regiónu boli generalizované do tzv. modelových pôdnych jednotiek. V záveroch projektu bolo konštatované, že priemerné simulované množstvo vyplavených dusičnanov je všeobecne nízke v porovnaní s odhadmi z niektorých západoeurópskych krajín (DHI ET AL., 1995). Vážený priemer vyplavených dusičnanov na území Žitného ostrova bol len 12 kg N/ha/rok. Najvyššie hodnoty vyplavených dusičnanov boli simulované pre oblasti s plytkými pôdami (TAKÁČ A KOŠČ, 1995).

Vyplavovanie dusičnanov pod koreňovú zónu a tým aj riziko kontaminácie podzemných vôd je determinované prírodnými činiteľmi, medzi ktoré patria klimatické činitele, vlastnosti pôdy, hĺbka štrkového horizontu a hydrologické pomery územia. V poľnohospodársky využívaných regiónoch je významným faktorom spôsob hospodárenia na pôde. Cieľom prípadovej štúdie bolo na základe numerických simulácií agroekologickým modelom DAISY odhadnúť vyplavovanie dusičnanov pod koreňovú zónu pri bežnej praxi zaužívanej v modelovom poľnohospodárskom podniku a odhadnúť priestorovú diferenciaciu vyplavovania dusičnanov pri rizikovom spôsobe hospodárenia. Prípadová štúdia bola vypracovaná v rámci riešenia projektu APVT-99-033-204 Úsporné technológie zavlažovania z hľadiska ochrany vôd pred znečistením dusičnanmi z poľnohospodárskej výroby.

## MATERIÁL A METÓDY

### Študovaná plocha

Pre výber lokality boli rozhodujúce dve kritériá, a to 1) predpoklad rizika vyplavovania dusičnanov na základe predchádzajúcich poznatkov a 2) dostatok relevantných informácií a vstupných údajov pre matematický model. Na základe týchto kritérií bola pre štúdiu vybraná lokalita Lehnice. Oblasť Žitného ostrova, v ktorej sa nachádza táto lokalita, bola jednou z troch oblastí, pre ktorú boli v rámci projektu PHARE/EC/WAT/1 simulované najvyššie úhrny dusičnanov vyplavených do podzemných vôd. Táto, ako aj ďalšie dve oblasti, boli totožné s oblasťami s obsahom  $\text{NO}_3$  v podzemných vodách v roku 1992 vyšším ako  $50 \text{ mg NO}_3/\text{l}$  (podľa údajov SHMÚ).



Obr. 1 Rozmiestnenie hydrogeologických sond v oblasti Lehnice

Na pozemkoch PD Lehnice sa v rokoch 1990-1998 vykonával monitoring vlhkosti pôdy, hladiny podzemnej vody a chemických vlastností pôdy (SOBOČKY A KOŁ., 1998). V rámci monitoringu boli stanovené aj základné fyzikálne a chemické charakteristiky pôdy. K dispozícii boli aj výsledky rozborov fyzikálnych a hydraulických charakteristík pôdy z ďalších 43 stanovišť získané v rámci riešenia rôznych výskumných úloh (obr. 1) a tak bola k dispozícii rozsiahla

databáza experimentálnych údajov potrebných pre numerické simulácie. Na ploche bolo v roku 1990 pre monitoring vybraných 11 stanovišť, v neskoršom období bol monitoring redukovaný a od roku 1993 sa pravidelné merania vykonávali len na štyroch lokalitách L 2, L 4, L 8 a L 9. Pôdny pokryv na stanovišti L 2 je tvorený hlinitou čiernicou typickou, na stanovištiach L 4 a L 8 piesočnato-hlinitou černoziemou typickou a na stanovišti L 9 hlinitou černoziemou čiernicovou.

V čase vykonávania monitoringu bola na pozemkoch RD Lehnice pestovaná hlavne kukurica. Zo 71 evidovaných stanovišť sa v priebehu deviatich rokov kukurica pestovala na 32 stanovištiach. Kukurica bývala často vysiatá na tej istej ploche v dvoch alebo troch nasledujúcich rokoch po sebe. Hustosiate obilniny boli za monitorované obdobie pestované na 17 plochách a strukoviny na 10 plochách. Slničnica bola pestovaná 4-krát a cukrová repa 3-krát. Pred cukrovou repou a kukuricou v prvom roku boli pozemky hnojené maštalným hnojom na jeseň (35-50 t/ha). Minerálne hnojivá boli aplikované vo forme dusičnanu amónneho alebo NPK v množstve 70-100 kg N/ha.

### **Agroekologický model DAISY**

Na Výskumnom ústave závlahového hospodárstva a jeho následníckych inštitúciách sa od roku 1992 využíva dánsky agroekologický simulačný model DAISY (HANSEN ET AL., 1990). DAISY je jednorozmerný model systému pôda – rastlina – atmosféra, ktorý na základe informácie o spôsobe hospodárenia a údajov o počasí simuluje rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciu organickej hmoty a dynamiku dusíka (HANSEN ET AL., 1990). Model DAISY bol testovaný vo viacerých medzinárodných porovnávacích štúdiách (DIEKKRÜGER ET AL., 1995, SMITH ET AL., 1997 a ďalší). Testy ukázali dobrú zhodu medzi meranými a simulovanými výsledkami.

Model DAISY je otvorený systém zložený zo špecializovaných modelov špecifických procesov. Model vodnej bilancie vyhodnocuje vodnú bilanciu povrchu a pôdy. Atmosféra a hladina podzemnej vody vytvárajú okrajové podmienky uvažovaného systému. Simulácia pohybu vody v pôde je založená na numerickej riešení Richardovej rovnice. Odber vody koreňmi je počítaný v každej numerickej vrstve, v ktorej je riešená Richardova rovnica.

Plodinový model je zrejme najkomplexnejšou časťou modelu DAISY. Hlavné procesy, ktoré model simuluje, sú fotosyntéza, respirácia, rozdelenie asimilátov, odumieranie listov a koreňov, stresové faktory a štruktúra porastu. Plodinový model rozlišuje listy, steblá, korene a zásobné orgány rastliny. Rozdelenie asimilátov medzi jednotlivé časti rastliny je regulované vývojom fázy plodiny. Po zbere koreňový materiál a pozberové zvyšky sú modelom presunuté do zložky organickej hmoty.

Model rozlišuje tri typy organickej hmoty: novo dodanú organickú hmotu, pôdnu organickú hmotu a pôdnu mikrobiálnu biomasu. Dusík je v modelovanom systéme prítomný vo forme  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  a ako organický dusík. Výmena medzi uvažovanými formami a straty zo systému sú v modeli simulované procesmi imobilizácie pôdneho minerálneho dusíka pôdnymi mikroorganizmami, mineralizáciou organickej hmoty, nitrifikáciou  $\text{NH}_4$ , denitrifikáciou  $\text{NO}_3$ , odberu minerálneho dusíka plodinou a vyplavovaním  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_3$ . Uvažovanými zdrojmi dusíka v systéme sú aj hnojenie a atmosférická depozícia. Odber minerálneho dusíka rastlinou je de-

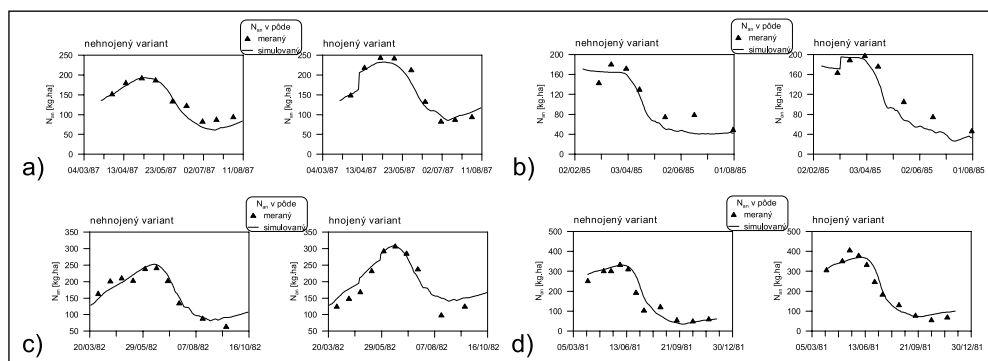
terminovaný buď potrebou plodiny alebo dostupnosťou minerálneho dusíka v pôde. Potreba plodiny je simulovaná na základe aktuálneho a potenciálneho obsahu dusíka v rastline, ktorý je daný produkciou akumulovanej sušiny a vývojovou fázou plodiny.

Manažérsky model umožňuje budovanie komplexných scenárov hospodárenia. Model rozpoznáva dva typy aktivít, a to priamu akciu a podmienené rozhodnutie. Priama akcia je jednoduchá aktivita ako je orba, sejba alebo zber. Podmienené rozhodnutie reguluje vykonanie aktivít. Dovoľuje vykonanie aktivity za splnenia určitých podmienok, napr. závlahová dávka sa aplikuje v prípade, že vlhkosť pôdy poklesne pod určitú hranicu a súčasne je plodina v určitej vývojovej fáze.

Podrobne je model DAISY vrátane teoretických východísk, syntaxu a programového riešenia popísaný v prácach autorov modelu (HANSEN ET AL., 1990, HANSEN, 2000, ABRAHAMSEN A HANSEN, 2000, ABRAHAMSEN, 2006).

### Kalibrácia a verifikácia modelu DAISY

Použitie každého modelu v odlišných klimatických a pôdnych podmienkach ako bol pôvodne vyvinutý si vyžaduje kalibráciu jeho parametrov. Kým vodný režim je pomerne dobre popísaný a väčšina známych modelov ho simuluje veľmi dobre, rast plodín a procesy týkajúce sa transformácie a transportu organickej hmoty a dusíka sú komplexnejšie a náročnejšie na parametrizáciu. Plodinové moduly modelu DAISY boli kalibrované a verifikované pre naše podmienky v rámci projektu PHARE/EC/WAT/1 (DHI et al., 1995). Parametre poľných plodín boli optimalizované na základe experimentálnych údajov z poľného stacionárneho pokusu na VPS VÚZH v Moste pri Bratislave z rokov 1981-1987 a overené boli na základe údajov z RD Lehnice, poľného stacionárneho pokusu v rokoch 1992-1994 (TAKÁČ A KOŠČ, 1995) a pokusu Biotechnológie z rokov 1999-2002. Na kalibráciu zemiakov pre model DAISY boli využité výsledky analýz z poľného pokusu založeného v rámci projektu FertOrgaNic na VPS v Moste pri Bratislave v rokoch 2003-2005 (HEIDMANN ET AL., 2006). Výsledky kalibrácie obsahu anorganického dusíka v pôde relevantné z hľadiska problematiky vyplavovania dusičnanov sú graficky znázornené na obr. 2 a zhrnutie výsledkov verifikácie je tab. 1. Na základe porovnaní meraných a simulovaných



Obr. 2 Meraný a simulovaný obsah anorganického dusíka v pôde na nehnojnom a hnojnom variante a) pod jarým jačmeňom v roku 1987, b) ozimnou pšenicou v roku 1985, c) pod kukuricou v roku 1982 a d) pod cukrovou repou v roku 1981.

hodnôt tvorby sušiny, príjmu dusíka a obsahu anorganického dusíka v pôde možno považovať celkové fungovanie modelu DAISY v slovenských podmienkach za uspokojujúce.

**Tab. 1.** Porovnanie meraného a simulovaného obsahu anorganického dusíka v pôde [kg ha<sup>-1</sup>] z pokusu Biotechnológie v rokoch 1999–2002 (*n* – počet údajov,  $x_m$  – aritmetický priemer,  $x_s$  – aritmetický priemer,  $\sigma$  – stredná kvadratická chyba,  $\sigma N$  – normovaná stredná kvadratická chyba)

Plodina	n	$x_m$	$x_s$	$\sigma$	$\sigma N$
Jarný jačmeň	72	99.29	100.77	22.960	0.231
Ozimná pšenica	18	31.05	27.83	7.640	0.246
Kukurica	114	152.77	146.10	30.714	0.201
Cukrová repa	60	165.10	162.96	36.984	0.224

### Výber scenárov a nastavenie simulácií

Pre simulácie agroekologickým modelom DAISY boli vybrané stanovišťa L 2, L 4,

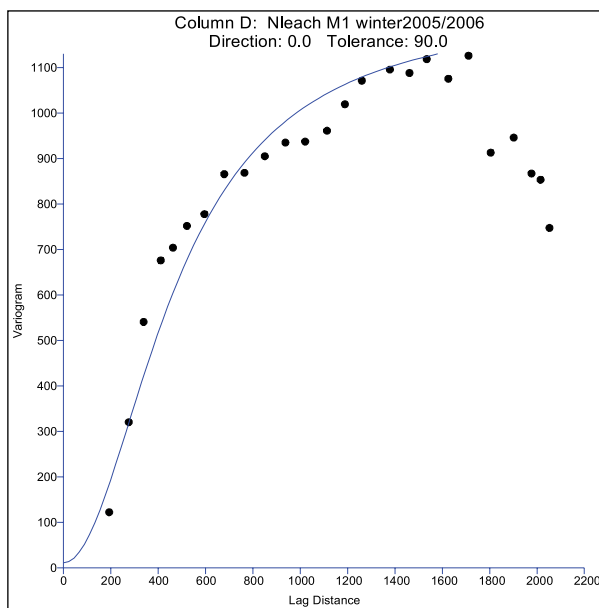
L 8 a L 9, na ktorých prebiehal monitoring až do roku 1998. Jednotlivé stanovišťa boli charakterizované fyzikálnymi, hydrologickými a chemickými charakteristikami pôdnych horizontov: zrnitostným zložením, objemovou hmotnosťou, parametrami retenčných čiar, hydraulickou vodivosťou, obsahom humusu a pomerom C:N.

Simulácie modelom DAISY boli vykonané pre obdobie 2003–2006 so zahrievacím obdobím 1993–2002. Pre simulácie boli využité denné údaje o globálnom žiarení, teplote vzduchu a zrážkových úhrnoch z meteorologickej stanice z VPS v Moste pri Bratislave. Chýbajúce merania boli doplnené údajmi z meteorologickej stanice Bratislava – letisko. V simuláciách boli použité archivované údaje o hladine podzemnej vody z rokov 1991–1998. Pre obdobie 1999–2006 boli hladiny podzemných vôd odhadnuté z trendových kriviek pri zachovaní ročného chodu.

V zahrievacom období bol pre simulácie použitý oševný postup z jednotlivých stanovišť z rokov 1993–1998, ktorý bol opakovaním postupnosti plodín predĺžený do roku 2002. Hnojenie a závlaha na jednotlivých stanovištiach v zahrievacom období boli k dispozícii z monitoringu. V rámci hodnoteného obdobia 2003–2006 bolo zvolených 9 oševných postupov, z ktorých šesť vychádzalo zo zaužívanej praxe na RD Lehnice počas monitoringu. V ďalších troch oševných postupoch boli simulované zemiaky po ozimnej pšenici. V šiestich oševných postupoch s poľnými plodinami boli simulované štyri varianty hospodárenia so zaoraním maštalného na jeseň, resp. na jar, zavlažované aj nezavlažované. V oševných postupoch so zemiakmi boli použité tri varianty hospodárenia, a to konvenčné hnojenie, fertigácia kvapkovou závlahou bez záchytného plodiny a fertigácia so záchytnou plodinou po zemiakoch. Dávky hnojív vychádzali z praxe zaužívanej na PD Lehnice v 90-tych rokoch. Počas celého zahrievacieho obdobia, ako aj vo všetkých hodnotených variantoch hospodárenia, boli v simuláciách pozberové zvyšky kukurice ponechané na poli a zaorané.

Spolu bolo teda simulovaných na každom zo štyroch stanovišť po 34 kombinácií oševných postupov a variantov hospodárenia. V záverečnej etape boli pre zvyšné stanovišťa, pre ktoré boli k dispozícii pôdne údaje, vykonané simulácie s oševným postupom kukurica – kukurica – jačmeň – kukurica, ktorý sa javil ako najkritickejší. V týchto simuláciách po desaťročnom

zahrievacom období, v ktorom prevládala v oševnom postupe kukurica a plodiny boli zavlažované a hnojené, bol simulovaný nezavlažovaný variant s aplikáciou maštalného hnoja na jeseň pred kukuricou v prvom a poslednom roku (M1) a zavlažovaný variant s jarnou aplikáciou maštalného hnoja (M2z). Hodnoteným obdobím bol zimný polrok október 2005 – marec 2006. Pre potreby priestorového vyhodnotenia množstva dusičnanov vyplavených z koreňovej zóny boli z výsledkov simulácií zostavené variogramy (obr. 3). Na základe variogramov s využitím krigingu boli skonštruované mapy vyplavovania dusíka pod koreňovú zónu.



Obr. 3 Variogram vyplaveného N vo variante M1.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

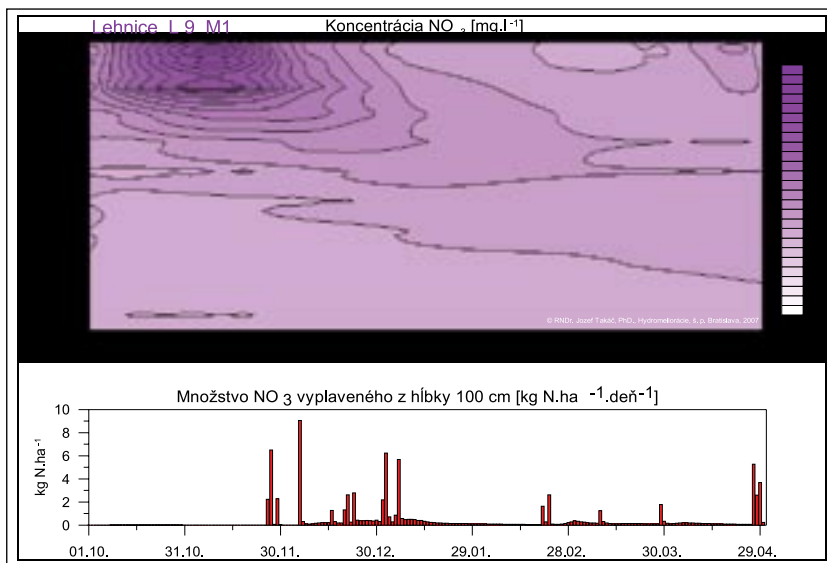
Simulované množstvo dusičnanov vyplavených pod koreňovú zónu bolo priestorovo a časovo diferencované v závislosti od faktorov prírodného prostredia a spôsobu hospodárenia na pôde. Pri priestorovej diferenciacii vyplavovania dusičnanov do podzemných vôd boli rozhodujúce pôdne a hydrologické podmienky. Pri časovej diferenciacii dominovali meteorologické činitele a hydrologické podmienky. Najviac vyplavených dusičnanov bolo simulovaných pre stanovište L 4 (v priemere  $61 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ), najmenej pre stanovište L 2 (v priemere  $16 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ). Tieto výsledky sú v súlade s výsledkami monitoringu, kde najvyšší obsah dusičnanov v podzemnej vode bol zistený práve na stanovišti L 4, kde v rokoch 1996-1998 sa pohybovala koncentrácia dusičnanových iónov v podzemnej vode medzi 76 a  $96 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (Piš A KOL., 1998).

Z pôdných vlastností ovplyvňovali vyplavovanie dusičnanov z pôdneho profilu hydraulické vlastnosti, zrnitostné zloženie, podiel makropórov a obsah organickej hmoty. Z týchto

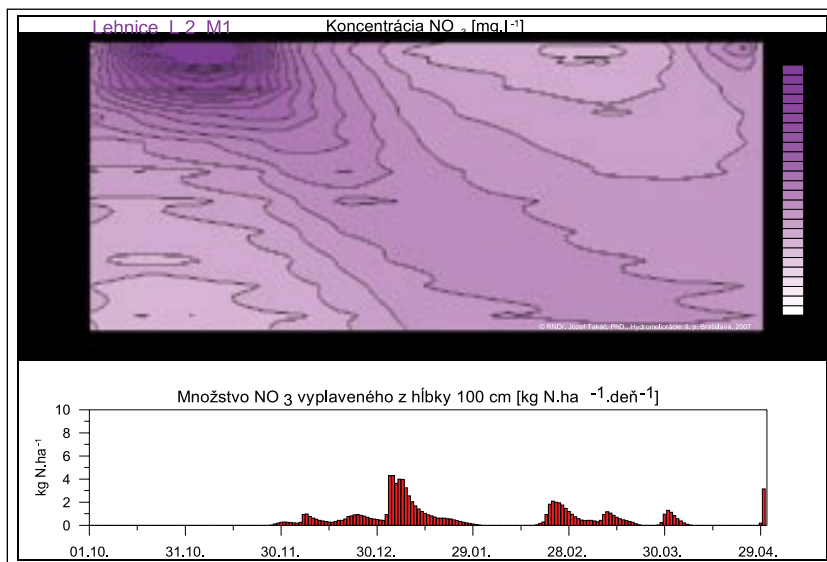
vlastností bol najzreteľnejší vplyv makropórov. Všeobecne možno konštatovať, že na stanovištiach s menším podielom makropórov bolo simulované množstvo vyplavených dusičnanov nižšie ako na stanovištiach s väčším podielom makropórov. Najviac sa to prejavilo po aplikácii maštalného hnoja v jarnom období, kde podiel makropórov na vyplavovaní dusičnanov bol na niektorých stanovištiach viac ako 90 %. Zo 4 základných stanovišť sa nevyskytovalo vyplavovanie dusičnanov makropórami len na stanovišti L 2, pričom na ostatných stanovištiach (L 4, L 8 a L 9) v niektorých obdobiach prevládalo.

K vyplavovaniu dusičnanov dochádzalo hlavne v zimných mesiacoch. V letných mesiacoch bolo simulované vyplavovanie dusičnanov na stanovištiach s piesočnato-hlinitými pôdnymi horizontmi L 4, L 8 a L 9 pri zhode viacerých nepriaznivých faktorov, hlavne v prípade jarnej aplikácie maštalného hnoja. Na stanovišti L 2 s hlinitým pôdnym profilom podľa výsledkov simulácií nedochádzalo v letnom polroku k významnejšiemu vyplavovaniu ani po jarnej aplikácii maštalného hnoja.

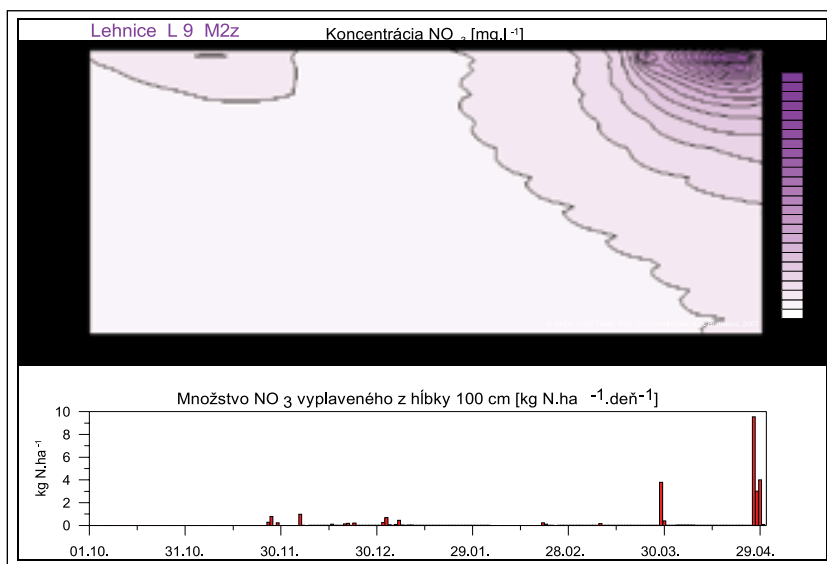
Najväčšie kumulatívne množstvá vyplavených dusičnanov boli simulované v zimných polrokoch 2002-2003 a 2005-2006 v oševnom postupe kukurica – kukurica – jačmeň jarý – kukurica, keď bola pôda bez porastu a na jeseň bolo dodané do pôdy 40 t.ha<sup>-1</sup> maštalného hnoja. Pribeh vývoja koncentrácie NO<sub>3</sub> v hĺbke do 100 cm a množstvá vyplaveného N s rôznym termínom zaorania maštalného hnoja na stanovištiach L 2 a L 9 v priebehu zimy 2005/2006 sú znázornené na obr. 4-7. Z porovnania stanovišť L 2 a L 9 vidieť, že charakter vyplavovania NO<sub>3</sub> pod koreňovú zónu je na týchto stanovištiach odlišný. Kým na stanovišti L 9 dochádza k prerušenému vyplavovaniu väčších množstiev NO<sub>3</sub>, na stanovišti L 2 je vyplavovanie rovnomernejšie. Príčinou je väčšie zapojenie makropórov do transportu roztokov na stanovišti L 9 v porovnaní so stanovišťom L 2.



Obr. 4 Koncentrácia NO<sub>3</sub> v pôdnom profile a vyplavené množstvá NO<sub>3</sub> z koreňovej zóny na lokalite Lehnice L 9 v období od októbra 2005 do konca apríla 2006 po jesennej aplikácii maštalného hnoja.

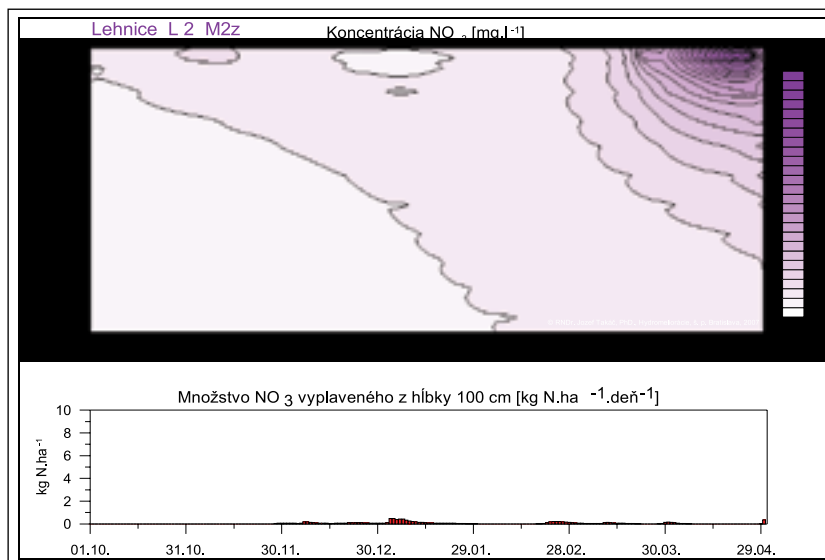


Obr. 5 Koncentrácia NO<sub>3</sub> v pôdnom profile a vyplavené množstvá NO<sub>3</sub> z koreňovej zóny na lokalite Lehnice L 2 v období od októbra 2005 do konca apríla 2006 po jesennej aplikácii maštalného hnoja.



Obr. 6 Koncentrácia NO<sub>3</sub> v pôdnom profile a vyplavené množstvá NO<sub>3</sub> z koreňovej zóny na lokalite Lehnice L 9 v období od októbra 2005 do konca apríla 2006 s aplikáciou maštalného hnoja na jar.



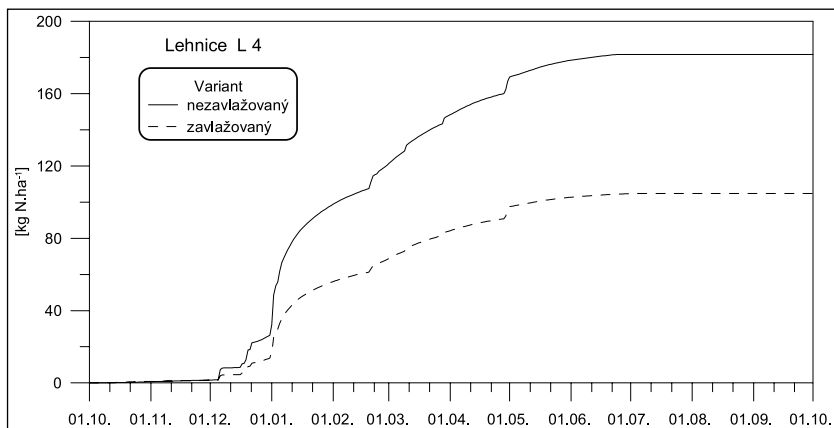


Obr. 7 Koncentrácia  $\text{NO}_3^-$  v pôdnom profile a vyplavené množstvá  $\text{NO}_3^-$  z koreňovej zóny na lokalite Lehnice L 2 v období od októbra 2005 do konca apríla 2006 s aplikáciou maštalného hnoja na jar.

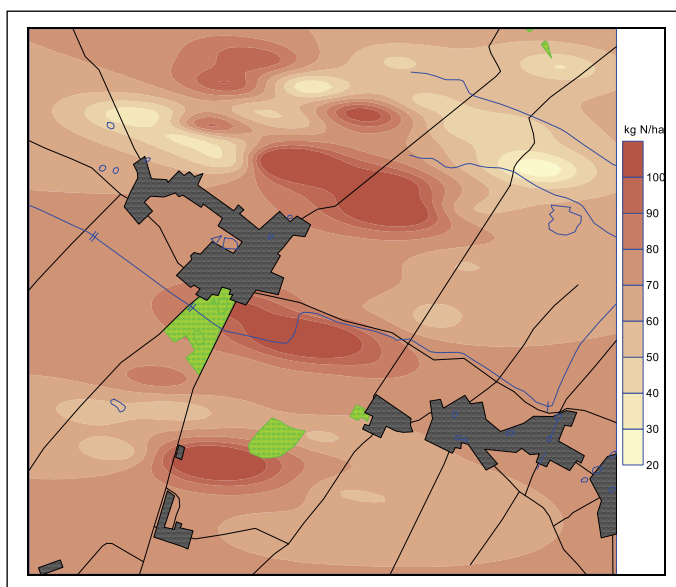
Priebeh vyplavovania  $\text{NO}_3^-$  úzko súvisí s priebehom počasia, hlavne s udalosťami s vyššími zrážkovými úhrnmi, resp. s topením snehu v priebehu zimy a na jar. Na priepustných pôdach s nepriaznivými vlastnosťami môže pri vyšších zrážkových úhrnoch dochádzať k vyplavovaniu dusičnanov aj pri jarnom zaoraní maštalného hnoja. V prípade na obr. 6 spadlo za 5 dní koncom apríla 76 mm zrážok.

Z porovnania koncentrácie  $\text{NO}_3^-$  na obr. 4 a 6, resp. obr. 5 a 7 vidieť, že koncentrácia iónov  $\text{NO}_3^-$  v pôdnom profile je na zavlažovaných variantoch M2z nižšia ako na nezavlažovaných variantoch M1. Na zavlažovanej pôde je príjem dusíka plodinou v dôsledku lepšieho vývoja porastu vyšší, čo v konečnom dôsledku znižuje aj objem vyplaveného dusíka z pôdy. Podľa výsledkov simulácií rozdiel v množstve vyplavených dusičnanov medzi nezavlažovanou a zavlažovanou pôdou sa pohyboval od 0 do 61  $\text{kg N.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$  v závislosti od stanovišta, počasia a oševného postupu. Na obr. 8 je znázornený kumulatívny úhrn vyplaveného  $\text{NO}_3^-$  na stanovišti L 4 od októbra 2005 do októbra 2006 na nezavlažovanej a zavlažovanej pôde. V zimnom období bola v týchto simuláciách pôda bez porastu. Ako vidieť, kumulované množstvo vyplaveného  $\text{NO}_3^-$  je na tomto stanovišti výrazne väčšie na nezavlažovanej pôde ako na zavlažovanej pôde.

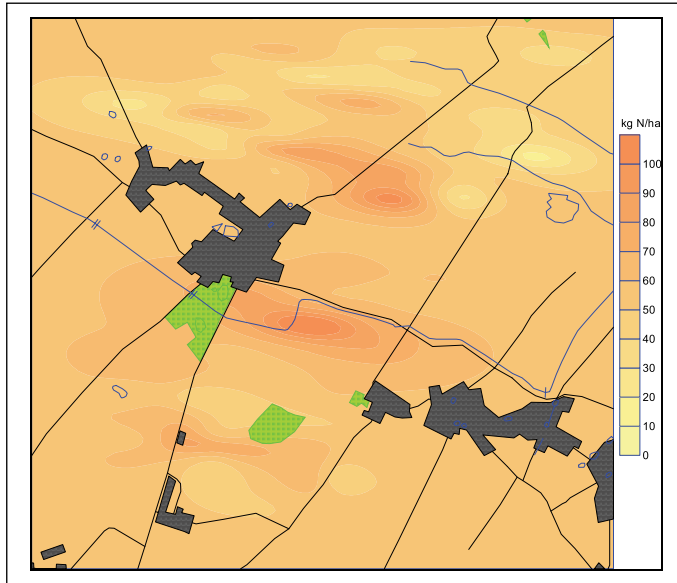
Množstvo vyplaveného  $\text{NO}_3^-$  je významne determinované aj spôsobom hospodárenia. Na obr. 9 a 10 je znázornené priestorové rozloženie množstva vyplaveného  $\text{NO}_3^-$  na hodnotenom území v zimnom polroku po zaoraní a bez zaorania maštalného hnoja na jeseň. Na obr. 11 je znázornený rozdiel medzi týmito dvomi modelovými situáciami.



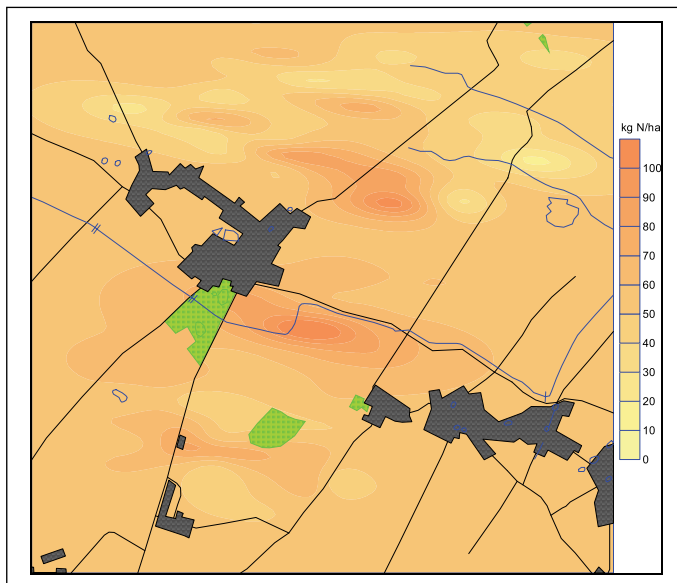
Obr. 8 Kumulované vyplavené množstvá  $\text{NO}_3$  z koreňovej zóny na lokalite Lehnice L 4 v období od októbra 2005 do októbra 2006 na nezavlažovanej a zavlažovanej pôde s aplikáciou maštalného hnoja na jar.



Obr. 9 Priestorové rozdelenie vyplaveného dusíka z koreňovej zóny na lokalite Lehnice v zimnom polroku 2005-2006 po jesennej aplikácii maštalného hnoja.



Obr. 10 Priestorové rozdelenie vyplaveného dusíka z koreňovej zóny na lokalite Lehnice v zimnom polroku 2005-2006 bez jesennej aplikácie maštalného hnoja.



Obr. 11 Rozdiel v množstve vyplaveného dusíka z koreňovej zóny na lokalite Lehnice v zimnom polroku 2005-2006 po jesennej aplikácii maštalného hnoja a bez aplikácie maštalného hnoja.

Podľa simulácií pri tzv. presnom hnojení na základe obsahu dusíka v pôde bolo simulované menšie vyplavovanie  $\text{NO}_3$  od 3 do 29  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  ako na ostatných variantoch v závislosti od variantu hnojenia a plodiny. V simuláciách so zemiakmi pri zavlažovaní kvapkovou závlahou a fertigácii bolo simulované menšie množstvo vyplaveného  $\text{NO}_3$  o 6 až 65  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  ako pri simuláciách s konvenčnou závlahou a hnojením. Záchytná plodina po zemiakoch sa podieľala na znížení vyplaveného  $\text{NO}_3$  o 2 až 30  $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  v porovnaní s pôdou bez porastu v zime.

Je zrejmé interaktívne pôsobenie jednotlivých faktorov na režim dusíka v pôde. Pri analýze výsledkov jednotlivých simulácií bolo zistené, že na niektorých stanovištiach bol indikovaný dusíkový stres plodiny, kým na iných stanovištiach bolo rovnaké dodané množstvo dusíka postačujúce. Podobne, na niektorých stanovištiach bolo dodané množstvo závlahovej vody dostatočné, na iných stanovištiach sa vyskytli obdobia s vodným stresom. Na základe týchto poznatkov sa javí nevyhnutné aplikovať v praxi metódy a technológie presnejšieho riadenia závlahových a živinových režimov. Medzi takéto metódy patria napr. metódy okamžitého stanovovania obsahu dusíka v rastline a v pôde (BÍZIK A KOL., 2006) a počítačové aplikácie na podporu rozhodovania (TAKÁČ, 2007).

## ZÁVER

Na základe analýzy výsledkov numerických simulácií rôznych osevných postupov, režimov hnojenia a závlahových režimov na vybraných stanovištiach v lokalite Lehnice možno konštatovať, že

1. rýchlosť a množstvo vyplavených dusičnanov je determinované pôdnymi vlastnosťami, hlavne hydraulickými vlastnosťami a objemom makropórov;
  2. koncentrácia dusičnanov v priesakovej vode je ovplyvnená hnojením, mineralizáciou a nitrifikáciou a príjmom dusíka plodinami;
  3. k vyplavovaniu dusičnanov dochádza hlavne v chladnom polroku, v letnom polroku prevláda výparný režim a preto dochádza k vyplavovaniu dusičnanov len zriedkavo, a to v prípade zhody viacerých nepriaznivých faktorov;
  4. pri zaoraní maštalného hnoja na jeseň dochádza v prípade mimoriadnych zrážkových úhrnov alebo v prípade topenia snehu pravidelne k vyplavovaniu dusičnanov pod koreňovú zónu, v prípade jarného zaorania maštalného hnoja k tomu dochádza len po intenzívnych zrážkach hlavne na priepustných pôdach;
  5. závlaha prispieva k lepšiemu využitiu živín a tým nepriamo znižuje množstvo vyplavených dusičnanov z pôdy;
  6. záchytná plodina v zime prispieva k redukcii vyplavených dusičnanov;
  7. metódy a technológie presného riadenia závlahových a živinových režimov prispievajú k znižovaniu vyplavovania dusičnanov pod koreňovú zónu.
-

## LITERATÚRA

- ABRAHAMSEN, P. 2006. *Daisy Program Reference Manual*. Copenhagen: Royal Veterinary and Agricultural University. 307 pp.
- ABRAHAMSEN, P., HANSEN, S. 2000. *Daisy: An Open Soil – Plant – Atmosphere System Model*. In *Environmental Modelling & Software*, 15. 313-330.
- BÍZIK, J., ILAVSKÁ, E., MALÁ, Š. 2006. *Quick test for determination of nitrates in soil and petiole sap for better management of fertilization and environment protection*. In *Proc. IX ESA Congress 4-7 September 2006*. Warszawa: Agricultural University in Warsaw, 2006, Vol. 11, p. 369-370.
- DIEKKRÜGER, B., SÖNDGERATH, D., KERSEBAUM, K.C. AND MCVOY, C.W., 1995. *Validity of agroecosystem models: a comparison of results of different models applied to the same data set*. In *Ecol. Model.*, 81: 3-29.
- DHI, DHV, TNO, VKI, KRÜGER and KVL, 1995. *PHARE Project Danubian Lowland - Ground Water Model (PHARE/EC/WAT/1). Final Report. Prepared by a consultant group for the Ministry of the Environment, Slovak Republic and for the Commission of the European Communities*. Vol. 1, 65 pp., Vol. 2, 439 pp. Vol. 3, 297 pp., Bratislava.
- HANSEN, S., JENSEN, H. E., NIELSEN, N. E., SVENDSEN, H. 1990. *DAISY – a Soil Plant System Model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil-plant-atmosphere system*. Copenhagen: The National Agency for Environmental Protection, 272 p. ISBN 87-503-8790-1.
- HANSEN, S. 2000. *DAISY, a Flexible Soil – Plant – Atmosphere System Model. Equation Section 1*. Copenhagen: The Royal Veterinary And Agricultural University. 1–47.
- HEIDMANN, T., TOFTENG, C., ABRAHAMSEN, P., PLAUBORG, F., HANSEN, S., BATTILANI, A., COUTINHO, J., DOLEŽAL, F., MAZURCZYK, W., REINARES RUIZ, J. D., TAKÁČ, J. *Calibration procedure for a potato crop growth model using information from across Europe*. (v tlači)
- PIŠ, V. A KOL. 1998. *Monitoring chemických vlastností vody v zóne aerácie na lokalite Lehnice*. Bratislava: VÚZH.
- SMITH, P., SMITH, J. U., POWLSON, D.S., ARAH, J.R.M., CHERTOV, O.G., COLEMAN, K., FRANKO, U., FROLKING, S., GUNNEWICK, H.K., JENKINSON, D.S., JENSEN, L.S., KELLY, R.H., LI, C., MOLINA, J.A.E., MUELLER, T., PARTON, W.J., THORNLEY, J.H.M. AND WHITMORE, A.P., 1997. *A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments*. In *Geoderma*, 81:153-222.
- SOBOCKÝ, I. A KOL. 1998. *Monitoring vlhkosti a vlhkostného potenciálu pôdy na lokalite Lehnice*. Bratislava: VÚZH.
- TAKÁČ, J. 2007. *Program na podporu rozhodovania pre pestovateľov zemiakov*. In *Naše pole*, roč. 11, č. 3, 2007, s. 25.
- TAKÁČ, J., KOŠČ, V. 1995. *Nenasýtená zóna a poľnohospodárstvo. Záverečná správa za podporný projekt k projektu PHARE/EC/WAT/1 Danubian Lowland Ground Water Model*. Bratislava: VÚZH. 64 s.

# ANALÝZA DOSTUPNOSTI A FORMY DOSTUPNOSTI ÚDAJOV PRE MODELOVANIE EKOSYSTÉMU NA GLOBÁLNEJ ÚROVNI

## ANALYSIS OF ACCESSIBILITY AND FORMS OF ACCESSIBILITY DATES FOR MODELLING OF ECOSYSTEM ON THE GLOBAL LEVEL

**Zuzana TARASOVIČOVÁ, Rastislav SKALSKÝ**

*Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, Bratislava  
e-mail: tarasovicova@vupu.sk, skalsky@vupu.sk*

### ABSTRACT

The article analyses and evaluates management data availability for the modeling of agro-ecosystem on the global level. Modeling relates with the creation of model reality and predicts the evolution of the agro-ecosystem. Collection of data depends on the EPIC model requirements for essential input data. Management data required by the EPIC model can be divided into 5 separate groups: crop rotation and crop share; crop calendar; fertilization; irrigation and mechanization. Available data evaluation followed three dimensions: spatial resolution of the data, attribute depth of the data and spatial data extent/coverage. Global-level management data availability is for all groups assessed as suboptimal.

**KEYWORDS:** model, modelling system, biophysical modelling, EPIC

### ABSTRAKT

Prekladaný príspevok analyzuje a hodnotí dostupné údaje pre modelovanie agroekosystému na globálnej úrovni. Modelovanie súvisí s tvorbou modelu reality a slúži na predpovedanie budúceho vývoja agroekosystému. Zhromažďovanie údajov vychádza z požiadaviek modelu EPIC, ktoré sú rozdelené do 5 oblastí, t.j. osevný postup a podiely plodín, pestovateľské kalendáre, hnojenie, zavlažovanie a mechanizácia. Údajové zdroje pre tieto oblasti sú hodnotené v 3 úrovniach, t.j. rozlišovacia schopnosť, kompletnosť pokrytia, kvalita a hĺbka údajov. Zhodnotený zdroj údajov v uvedených kritériách sú v prevažnej miere suboptimálne.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** model, systém modelovania, biofyzikálne modelovanie, EPIC

---

## ÚVOD

Jednou z úloh výskumu v oblasti globálneho ekonomického modelovania je zabezpečenie vhodných údajov a poznatkov o krajine a jej využívaní (SKALSKÝ A I., 2006). Dôležité sú poznatky, ktoré určujú dynamiku systému vo vzťahu k času a priestoru.

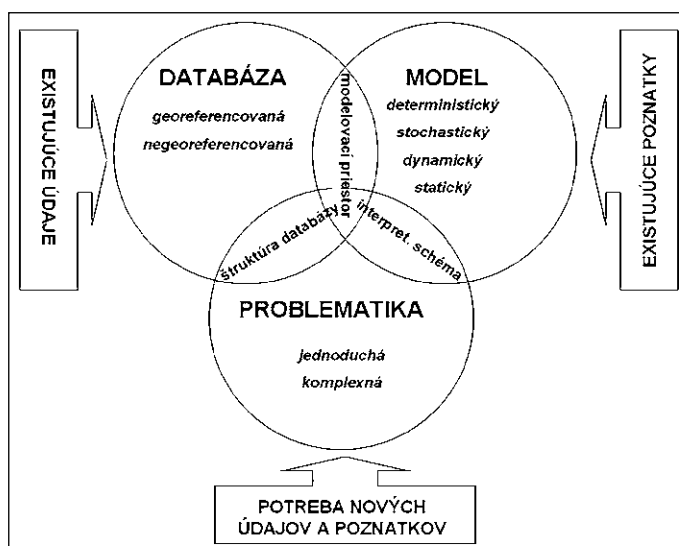
Modelovanie je realizované pomocou účelovo zadaných vlastností reality a predstavuje činnosti spojené s tvorbou modelu reality, ako aj so samotnou aplikáciou nástroja s implementáciou vyžadovaných algoritmov (viac informácií – SKALSKÝ A I., 2006).

Model predstavuje zjednodušené zobrazenie skutočnosti, s ktorým môžeme odhadnúť výsledky bez prevedenia samotných pokusov. Modely sú počítačové aplikácie (programy) slúžiace k predpovedaniu správania sa krajiny (ROSSITER, 2003; SKALSKÝ A I., 2006).

Model môže byť použitý k predpovedaniu úrod pod rôznymi technologickými postupmi a tiež k predpovedi krajinej kvality (zásoba vody, živín a radiačná bilancia), ktorá tvorí dôležitú zložku úrody (ROSSITER, 2003).

Systém modelovania predstavuje z hľadiska štúdie krajiny účelový systém údajových vstupov a poznatkov o danom systéme, ktorý umožňuje modelovanie jeho vybraných aspektov. Schématické znázornenie systému modelovania je na Obr. 1. Systém modelovania má tri základné prvky:

- aspekt modelovania zvoleného systému, ktorý je možno charakterizovať mierou komplexnosti riešenej problematiky,
- dostupné údaje o prvkoch modelovaného systému, alebo systéme ako celku,
- dostupné poznatky o zákonitostiach vývoja a dynamiky sledovaných prvkov systému, alebo systému ako celku (model) (viac informácií SKALSKÝ A I., 2006).



Obr. 1: Schéma systému modelovania (zdroj: SKALSKÝ A I., 2005)

Súčasťou systému modelovanie je model, ktorý pre svoju aplikáciu v systéme vyžaduje aspoň minimálnu množinu údajových vstupov (databázu), reprezentujúcu priestorovú štruktúru ekosystému tak, ako ich vyžaduje daný model, z ktorých môžu byť následne odvodené požadované výstupy. Údaje sú prvkom systému modelovania, ktorý v zásadnej miere ovplyvňuje kvalitu výsledkov. V procese biofyzikálneho modelovania predstavujú údaje vhodne vyjadrené hodnoty stavových, alebo potenciálových veličín prvkov ekosystému. (viac informácií – SKALSKÝ A I., 2006).

Uvedený prístup fúzie údajov a modelu je v dnešnej dobe veľmi často riešenou problematikou v oblasti vedy a výskumu. Tejto problematike sa vo svojich prácach venujú BALKOVIČ A I., 2006, LIU ET AL. 2007A, LIU ET AL. 2007B, STEHFEST, 2005.

V tomto príspevku sa venujeme analýze dostupnosti a formám dostupnosti údajov pre biofyzikálny model EPIC (ďalej iba EPIC) ako nástroja pre modelovanie stavu a vývoja krajiny. Priestor je venovaný možnostiam reálnej prípravy požadovaných vstupných údajov predovšetkým o systéme hospodárenia na pôde v celosvetovej úrovni (a to z obsahového, priestorového a časového hľadiska). Problematika je riešená v rámci medzinárodného projektu GEO-BENE. Cieľom projektu je vyvinúť aparát a nástroje (modely) pre analýzu efektov (ekonomických, sociálnych a enviromentálnych) k predpovedaniu vybraných dopadov na kvalitu života na Zemi.

## MATERIÁL A METÓDY

### Modelovací systém

Modelovací systém, o ktorom uvažujeme v tomto príspevku pozostáva z modelu EPIC ako takého, aspektu a údajových zdrojoch. Aspektom je modelovanie vývoja agroekosystému na základe najpravdepodobnejšieho scenára využívania krajiny na globálnej úrovni. Neznámou sú v tomto prípade údajové zdroje o agroekosystéme (osevné postupy a podiely plodín, termíny sejby a zberu, hnojenie a obrábanie pôdy). Tieto požiadavky v jednotlivých oblastiach pre EPIC majú byť z hľadiska formy organizované v podobe, ktorá je dostupná pre spracovanie v moderných technických systémoch a reprezentované ako digitálne údaje, v klasickej alebo geografickej databáze.

### Model EPIC

EPIC bol rozvinutý modelátorským centrom USDA (United Statet Department of Agriculture) ku kvantifikácii dopadov pôdnej erózie a produktivity poľnohospodárskej krajiny v USA (WILLIAMS 1990, JONES ET AL. 1991).

EPIC je biofyzikálny model, ktorý v sebe zahŕňa tieto hlavné komponenty: simulátor počasia, erózia a sedimentácia, kolobeh živín a uhlíka, rastový simulátor, teplotný a vlhkosťný režim pôdy, orbové technológie, pesticídy, režimy hnojenia a zavlažovania. K simulácii hlavných procesov prebiehajúcich v systéme pôda-plodina-atmosféra-manažérsky systém vyžaduje EPIC denné časové kroky a je schopný modelovať stovky rokov.

Vstupné požiadavky pre EPIC o systéme hospodárenia na pôde možno rozdeliť do týchto oblastí:



1. Osevný postup a podiely plodín (časové sledy plodín v jednotlivých rokoch)
2. Pestovateľský kalendár (dátumy sejby/sadenia a zberu)
3. Hnojenie (dávka a typ organického hnojiva (t/ha), dávka anorganických hnojív (kg/ha) s časovou radou aplikácie)
4. Zavlažovanie (dátum a suma závlah v mm)
5. Mechanizácia (dátum a typ obrábania pôdy – orba, bránenie a ďalšie operácie obrábania)

### Zdroje údajov

Internetovým rešeršom sme na základe požiadaviek pre EPIC vybrali tieto stránky: AQUASTAT, FAOSTAT, IFA, ktoré predstavujú vhodný zdroj údajov a informácií na globálnej alebo národnej úrovni. Ďalšími zdrojmi sú dokumenty resp. projekty riešené na celosvetovej úrovni (FISHER ET AL., 2006, KUČERA ET AL., 2004A, KUČERA ET AL., 2004B, KUČERA ET AL., 2004C, SIEBERT, 2005, STEHFEST, 2005, YOU ET AL., 2006). Všetky uvedené zdroje dostupných údajov a informácií boli podrobené analýze, aby bolo zrejmé aký druh a štruktúru údajov ponúkajú.

Rozdelenie údajových zdrojov:

1. *Cenzusové a štatistické* (FAOSTAT, IFA) – predstavujú kvalitné zdroje informácií o zberových plochách, spotrebe a množstve aplikovaných hnojív, spotrebe pesticídov a strojov využívaných v poľnohospodárstve na národnej resp. regionálnej úrovni. Takýmto údajom hovoríme aj geokódované.
2. *Výstupy z projektov* (AQUASTAT, 2007, FISHER ET AL., 2006, KUČERA ET AL., 2004A, KUČERA ET AL., 2004B, KUČERA ET AL., 2004C, SIEBERT, 2005, STEHFEST, 2005, YOU, 2006) – poskytujú výsledky vychádzajúce z rôznych štúdií vykonaných na globálnej resp. regionálnej úrovni a štatistik. Tematická časť týchto projektov je viazaná na pixel.

### Hodnotenie kvality geografických údajov

Kvalita vstupných údajov (o stanovišti, klíme, pôde, plodinách a pestovateľských systémoch) pre modelovanie priamo podmieňuje spoľahlivosť výstupov z modelov. Hodnotenie dostupných zdrojov údajov je vykonané v týchto kritériách, ktorých výber vychádzal z hodnotenia MIČIETOVEJ (1999) A KUSENDOVEJ (2003): rozlišovacia schopnosť resp. kvalita priestorových údajov, kompletnosť pokrytia a kvalita a hĺbka údajov.

1. Rozlišovacia schopnosť vyjadruje schopnosť geografickej databázy rozlišovať detaily v priestore, čase a obsahu. Údaje z hľadiska priestoru majú byť vhodne organizované v pravidelnej sieti (gride), najvhodnejšie v priestorovom rozlíšení 5 alebo 30 oblúčkových minút. Stupnica hodnotenia: raster 5 min, raster 30 min, vektorové, geokódované.
2. Kompletnosť pokrytia. Základná požiadavka na údaje vyplývajúca z projektu GEOBENE je, aby dostupné zdroje pokrývali celý svet (globálna úroveň údajov). Pokrytie je hodnotené v stupnici nasledovne: globálne, regionálne, národné a nie je.
3. Kvalita a hĺbka údajov priamo súvisí s požiadavkami modelu EPIC na vstupné údaje. Podľa kvality a hĺbky údajov sú dostupné zdroje údajov hodnotené v stupnici: vysoká, stredná, nízka a nie je.

Hodnotenie údajových zdrojov je grafické. Graf je tvorený troma osami so stupnicami hodnotenia. Spojením najlepších hodnôt v troch úrovniach hodnotenia vzniká trojuholník, ktorý hovorí o optimálnej miere naplnenia danej oblasti údajmi. Všetky iné tvary trojuholníka sú suboptimálne.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Identifikované zdroje údajov

V jednotlivých oblastiach vyčlenených na základe požiadaviek modelu EPIC sú identifikované tieto zdroje:

1. Osevné postupy a podiely plodín na globálnej úrovni sú k dispozícii v databáze spracovanej International Food Policy Research Institute a popísané v príspevku (You, 2006) (ďalej ako IFPRI údaje). IFPRI údaje sú v geografickej podobe pre 20 najpestovanejších plodín a vychádzajú z cenzusových údajov. Rozdeľujú svet na 4 produkčné systémy (vysoká a nízka úroveň vstupov bez závlah, zavlažovanie a prirodzené podmienky pestovania). Ďalšie dostupné údaje, s ktorými môžeme uvažovať v tejto oblasti sú štatistiky Food and Agriculture Organization of the United Nations (ďalej ako FAOSTAT). FAOSTAT obsahuje štatistiku zberových plôch plodín pestovaných v rámci sveta.
  2. Z IFPRI údajov v oblasti pestovateľských kalendárov môžeme vymedziť počet pestovateľských sezón v rámci roka. Pestovateľské kalendáre pre pšenicu, ryžu, kukuricu a sóju sú organizované v databáze spracovanej STEHEFST (2005) (ďalej ako databáza Stehfest). V publikáciách (KUČERA ET AL., 2004a, KUČERA ET AL., 2004b, KUČERA ET AL., 2004c) (ďalej ako MARS dokumenty) sú k dispozícii kalendáre pre plodiny pestované v rámci Európy. Ide o priestorové údaje, ktoré pokrývajú 11 krajín Európy.
  3. Informácie o anorganickom hnojení sú spracované International Fertilizer Industry Association v spolupráci s ďalšími organizáciami a vydané v publikácii (IFA-IFDC-IPI-PPI-FAO, 2002) (ďalej ako IFA údaje). Publikácia obsahuje dávky aplikovaných živín (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) k pestovaným plodinám pre 88 krajín sveta. Zdroj údajov využiteľný k hnojeniu predstavuje štatistika o spotrebe hnojív pre 200 krajín sveta z FAOSTAT-u. IFPRI údaje vyčleňujú produkčný systém s vysokou a nízkou úrovňou vstupov na globálnej úrovni. Pre organické hnojenie je k dispozícii SIEBERT (2005) (ďalej ako Siebert). Údaje sú priestorové a reprezentujú vstupy dusíka z hospodársky zvierat.
  4. Prvoradý zdroj údajov pre závlahy predstavuje AQUASTAT. AQUASTAT je informačný systém o vode a poľnohospodárstve spravovaný Food and Agriculture Organization of the United Nations. Údaje sú v geografickej podobe, kde závlahové areály sú vyjadrené v percentách a hektároch z celkovej plochy. Ďalším zdrojom sú IFPRI údaje, ktoré vymedzujú plochy so závlahovým produkčným systémom v rámci sveta.
  5. Pre oblasť obrábania pôdy je k dispozícii štatistika FAOSTAT-u, MARS dokumenty a IFPRI údaje.
-

## Identifikácia chýbajúcich údajov

V oblasti osevných postupov sú k dispozícii informácie o štruktúre plodín v rámci sveta (IFPRI údaje) v dobrom priestorovom rozlíšení (raster s priestorovým rozlíšením 5 min). Tento zdroj maximálne reprezentuje reálne modelované územie (maximálny počet plodín) (Obr. 2a). Nedostatok týchto údajov vyplýva z požiadaviek modelu EPIC v tejto oblasti, chýbajú časové sledy plodín.

Zdroje údajov v oblasti pestovateľských kalendárov sú hodnotené ako suboptimálne (Obr. 2b). V databáze Stehfest sú k dispozícii dátumy sejby v dobrom priestorovom rozlíšení (raster s priestorovým rozlíšením 30 min) avšak nedostatočne zachytávajú reálny stav. Nedostatkom hodnotených údajových zdrojov v tejto oblasti sú chýbajúce termíny sejby a zberu pre maximálny počet plodín na globálnej úrovni v dobrom priestorovom rozlíšení.

V oblasti anorganického hnojenia (Obr. 2c) sú k dispozícii dávky aplikovaných živín k jednotlivých plodinám (IFA údaje). V hodnotených údajoch chýbajú dávky aplikovaných živín pre niektoré krajiny a časové rady hnojenia na globálnej úrovni. Nedostatkom údajového zdroja o organickom hnojení (Siebert) je chýbajúca časová rada aplikácie organických hnojív k príslušným plodinám s celosvetovým pokrytím (Obr. 2d).

Suboptimálne zdroje údajov v oblasti závlah predstavuje AQUASTAT aj IFPRI údaje (Obr. 2e). Uvedené údaje sú v dobrom priestorovom rozlíšení (raster s priestorovým rozlíšením 5 min) ale v nedostatočnej miere splňajú požiadavky modelu EPIC. V AQUASTAT-e chýbajú časové rady a dávky závlah, ktoré pokrývajú všetky krajiny sveta. V IFPRI údajoch absentujú informácie o časovej rade a dávke závlahy.

Pri hodnotení oblasti mechanizácie možno vidieť, že hodnotené zdroje sú výrazne suboptimálne (Obr. 2f). Z IFPRI údajov môžeme vymedziť plochy s vysokou a nízkou úrovňou vstupov a tak predpokladať, že na areáloch s vysokou úrovňou vstupov je intenzívnejšie spracovanie pôdy. Nedostatky sú v časových radoch a určení typu pracovnej operácie k jednotlivým plodinám na globálnej úrovni.

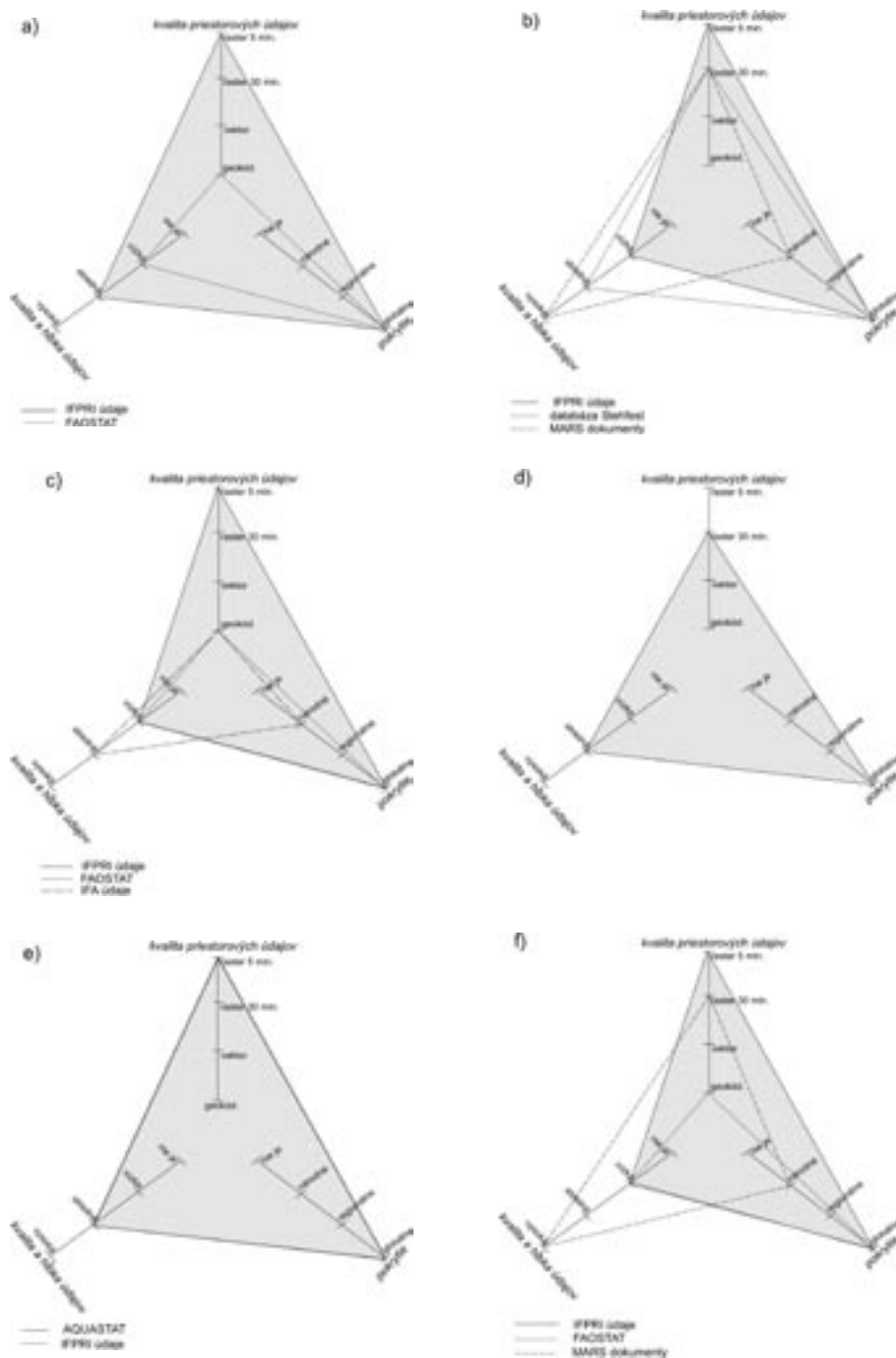
Nedostatky v jednotlivých oblastiach (osevné postupy, dátumy sejby a zberu, hnojenie a mechanizácia) je potrebné riešiť na globálnej úrovni.

## ZÁVER

Potreby modelu EPIC v jednotlivých oblastiach (osevné postupy, pestovateľské kalendáre, hnojenie, závlahy a mechanizácia) nie sú dostatočne pokryté vstupmi pre modelovanie. Prevažná väčšina údajových zdrojov hodnotených na základe kritérií stanovených v metodike je suboptimálna.

V oblasti osevných postupov sú požiadavkou časové sledy plodín, ktoré reprezentujú reálne podmienky na globálnej úrovni. K dispozícii sú však iba štruktúry plodín.

Ďalšia požiadavka súvisí s oblasťou pestovateľských kalendárov, kde je nevyhnutné zozbierať termíny sejby/sadenia a zberu pre maximálny počet pestovaných plodín na celosvetovej úrovni.



Obr. 2: Hodnotenie jednotlivých oblastí modelu EPIC: a) oševný postup a podiely plodín, b) pestovateľský kalendár, c) anorganické hnojenie, d) organické hnojenie, e) zavlažovanie a f) mechanizácia

Potreby pre hnojenie spočívajú v uvedení časovej rady, dávky a typu organického a anorganického hnojiva. Zdroje údajov hovoria o dávkach živín z anorganických hnojív a vstupoch dusíka do pôdy z hospodárskych zvierat.

Údajové zdroje v oblasti závlah v nedostatočnej miere spĺňajú požiadavky modelu EPIC. Potrebné sú časové rady a dávky závlah pri niektorých krajinách.

Potreby pre modelovanie v oblasti mechanizácie sú čas a typ obrábania.

## LITERATÚRA

- AQUASTAT [on-line] DG Food and Agriculture Organization of United Nations, január 2007 [cit. 2007-08-15]. Dostupné na internete: < <http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/aquastat/main/index.stm> >.
- BALKOVIČ, J., SCHMID, E., BUJNOVSKÝ, R., SKALSKÝ, R., POLTÁRSKA, K. 2006. *Biofyzikálne modelovanie pre hodnotenie potenciálu sekvestrácie uhlíka na ornej pôde pilotného územia Baden-Württemberg (Nemecko)*. In *Agriculture*, roč. 52, 2006, s. 169-179
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations STAT) [on-line] DG Food and Agriculture Organization of the United Nations, november 2006 [cit. 2007-08-15]. Dostupné na internete: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>
- FISHER, G., SHAH, M., VELTHUIZEN, H., NACHTERGAELE, F. 2006. *Agro-ecological zones assessments*. In *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, 2006. Oxford: EOLSS Publishers. Dostupné na internete: <<http://www.eolss.net> >.
- IFA (International Fertilizer Industry Association) [on-line] DG International Fertilizer Industry Association, november 2006 [cit. 2007-08-15]. Dostupné na internete: <<http://www.fertilizer.org/ifa/>>.
- IFA-IFDC-IPI-PPI-FAO, 2002: *Fertilizer use by crop – 5<sup>th</sup> edition*. FAO report, ROME, 45 s.
- KUČERA, L. et al. 2004a. *Crop Monographies on Central European countries vol. 2 Estonia, Latvia, Lithuania, Poland. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*, 2004. 122 s. ISBN 92-894-8177-3. Dostupné na internete: [http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop\\_Yield\\_Forecasting/MOCA/00000000.HTM](http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop_Yield_Forecasting/MOCA/00000000.HTM)
- KUČERA, L. et al. 2004b. *Crop Monographies on Central European countries vol. 3 Czech republic, Slovakia, Hungaria, Slovenia. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*, 2004. 160 s. ISBN 92-894-8178-1. Dostupné na internete: [http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop\\_Yield\\_Forecasting/MOCA/00000000.HTM](http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop_Yield_Forecasting/MOCA/00000000.HTM)
- KUČERA, L. et al. 2004c. *Crop Monographies on Central European countries vol. 4 Romania, Bulgaria, Turkey. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*, 2004. 122 s. ISBN 92-894-8179-X. Dostupné na internete: [http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop\\_Yield\\_Forecasting/MOCA/00000000.HTM](http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop_Yield_Forecasting/MOCA/00000000.HTM)
- KUSENDOVÁ, D. 2003. *Geografické informacné systémy a humánna geografia – vybrané teoreticko-metodologické a aplikatívne aspekty*. In *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae Geographica*, 2003, č. 44, s. 89-140.
- LIU, J., WILLIAMS, J. R., ZEHNDER, A. J. B., YANG, H. 2007a. *GEPIC – modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale*. In *Agricultural Systems*, roč. 94, 2007, č. 2, s. 478-493.
- LIU, J., WIBERG, D., ZEHNDER, A. J. B., YANG, H. 2007b. *Modeling the role of irrigation in winter wheat yield, crop water productivity, and production in China*. In *Irrigation Science*, doi: 10.1007/s00271-007-0069-9, 13 s.
- MIČIETOVÁ, E. 1999. Kvalita, funkcie a operačné možnosti databázy geografického informačného systému. In *Geografický časopis*, roč. 51, 1999, č. 3, s. 297-312.
- ROSSITER, D. G. 2003. *Biophysical models in land evaluation*. In *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, 2003, 16 s. Dostupné na internete: <[www.itc.nl/~rossiter/Docs/EOLSS\\_1527\\_Preprint.pdf](http://www.itc.nl/~rossiter/Docs/EOLSS_1527_Preprint.pdf) >
- SIEBERT, S. 2005. *Global-Scale Modeling of Nitrogen Balances at the Soil Surface: výskumná správa*. Frankfurt am Main: Institute of Physical Geography, 2005, 32 s. Dostupné na internete: <[http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/mitarbeiter/siebert\\_en/publications/index.html](http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/mitarbeiter/siebert_en/publications/index.html)>
- SKALSKÝ, R., BALKOVIČ, J., SCHMID, E. 2005. *Environmental assessment of climate-change driven risks in landscape – decision support tool*. In HLUCHÝ, L., NGUYEN, G., (eds.) *International workshop on grid computing for complex problems*. II SAS, Bratislava, s. 84–92, ISBN 80-969202-1-9.
- SKALSKÝ, R., BALKOVIČ, J., NOVÁKOVÁ, M. 2006. *Novšie prístupy k tvorbe údajov pre potreby hodnotenia pôdy a krajiny*. In SOBOCKÁ, J., DŽATKO, M., (eds.) *Od mapovania a hodnotenia pôd k udržateľným sústavám využívania pôdy a krajiny*. Zborník z vedeckého seminára. Bratislava: VÚPOP, 2006, s. 89–95, ISBN 80-89128-27-0.
- STEHFEST, E. 2005. *Modelling of global crop distribution and resulting N2O emissions: dizertačná práca*. Nemecko: Universität Kassel, 2005, 150 s. Dostupné na internete: [https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2006041810058/1/Dissertation\\_Elke\\_Stehfest\\_2006-01-18.pdf](https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/bitstream/urn:nbn:de:hebis:34-2006041810058/1/Dissertation_Elke_Stehfest_2006-01-18.pdf)
- YOU, L., WOOD, S. 2006. *An entropy approach to spatial disaggregation of agricultural production*. In *Agricultural Systems*, roč. 90, 2006, č. 1-3, p. 329-347.

# ROZVOJ, KVALITA ŽIVOTA A PÔDA V REGIÓNOCH SLOVENSKEJ REPUBLIKY

## DEVELOPMENT, QUALITY OF LIFE AND SOIL IN THE REGIONS OF THE SLOVAK REPUBLIC

**Zdenka ZAJÍČKOVÁ**

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava*

### ABSTRACT

The paper looks on regional development from a different point of view – regarding the soil quality as the one of its fundamental preconditions in face of quality of life in particular region. The main objective was to analyse the relations/or non-relations among socio-economic aspects (quality of life) and soil quality at regional level. We named this linkage “conditionability”, and it could be characterized as an ability of the ecological systems to create, provide and condition the potentials for socio-economic development in the particular region. Analysis’s findings identified the presence of the pressure on soil (space requirements), and related threat of environmental degradation. This role of soil as a potential limitation factor of the future regional development is important especially according to the implementation of the sustainability principles into the decision-making process at regional level.

**KEYWORDS:** regional development, soil quality, quality of life, conditionability, sustainable development

### ABSTRAKT

Príspevok pristupuje k problematike regionálneho rozvoja z iného uhla pohľadu – a to z ohľadom na kvalitu pôdy ako základného predpokladu pre kvalitu života v konkrétnom regióne. Hlavným cieľom bolo analyzovať vzťahy, či ich prípadnú absenciu medzi socio-ekonomickými aspektmi (kvalita života) a kvalitou pôdy na regionálnej úrovni. Toto prepojenie sme pomenovali “podmienenosť”, a môže byť charakterizované ako schopnosť ekologických systémov vytvárať, poskytovať a podmieňovať potenciály pre socio-ekonomický rozvoj v konkrétnom regióne. Výsledky analýzy identifikovali prítomnosť tlaku na pôdu (priestorové požiadavky), a s tým súvisiacu hrozbu environmentálnej degradácie. Bola identifikovaná úloha pôdy ako potencionálneho limitujúceho faktora budúceho regionálneho rozvoja, ktorá je dôležitá

---

predovšetkým vzhľadom na implementáciu princípov trvalo udržateľného rozvoja do procesov rozhodovania na regionálnej úrovni.

**Kľúčové slová:** regionálny rozvoj, kvalita pôdy, kvalita života, podmienenosť, trvalo udržateľný rozvoj

## ÚVOD

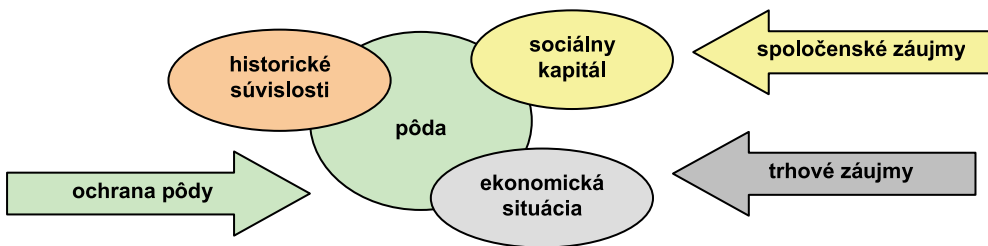
Príspevok pristupuje k problematike regionálneho rozvoja z iného uhla pohľadu – a to z ohľadom na kvalitu pôdy ako základného predpokladu pre kvalitu života v konkrétnom regióne. Keďže regionálny rozvoj je problematické definovať vzhľadom na jeho komplexnosť prebiehajúcich rozvojových procesov v jednotlivých regiónoch, chápeme ho ako dlhodobý regionálne viazaný a cieľovo orientovaný proces. Pričom úspešný *regionálny rozvoj*<sup>1</sup> je rozvoj napĺňajúci ciele trvalo udržateľného rozvoja, súčasne so zameraním na dlhodobé regionálne aktivity, spolu so zodpovednosťou jednotlivých aktérov za budúci rozvoj. Nasledovne je tento rozvoj spojený so zlepšením regionálneho a lokálneho vládnutia a participácie aktérov, čo vytvára tiež cestu k uchopeniu environmentálnych problémov v regiónoch.

Cieľom príspevku je zdôrazniť úlohu ochrany pôdneho fondu, a poukázať na nevyhnutnosť podpory procesu rozhodovania v súlade s trvalo udržateľným rozvojom a plánovaním v regiónoch. Témy príspevku sa sústreďujú na trvalo udržateľný rozvoj, jeho princípy a možnosti ich implementácie na regionálnej úrovni, ktorá je reprezentovaná jednotlivými okresmi Slovenskej Republiky. Hlavným zámerom príspevku je ilustrovať logiku existujúcich vzťahov a interakcií (konfliktných alebo podporujúcich) kvality života na regionálnej úrovni vzhľadom na pôdu, jej kvalitu a ochranu.

## MATERIÁL A METÓDY

### Stanovenie problémov

Obrázok 1 znázorňuje situáciu vzájomného prepojenia medzi environmentálnymi, ekonomickými a sociálnymi dimenziami trvalo udržateľného rozvoja aplikovaného v kontexte regiónov



Obr. 1. Situácia v regiónoch (podľa ZAJIČKOVÁ, 2006)

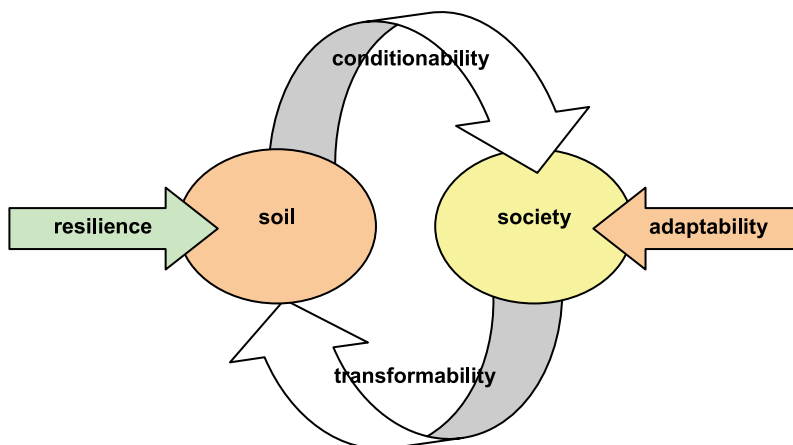
<sup>1</sup> Pozri "magický päťuholník" Nohlen a Nuscheler (1993), "úspešný regionálny rozvoj" a "puzzle" úspešného regionálneho rozvoja" ZAJIČKOVÁ (2006).

SR. Vzhľadom na ciele výskumu sme sa zamerali na ilustráciu logiky týchto vzťahov/interakcií, či už konfliktných alebo podporujúcich, so zreteľom na pôdu, jej parametre a pohnútky k jej ochrane.

Identifikovali sme nasledovné faktory regionálneho rozvoja, ktoré majú vplyv na pôdu, a to: historické súvislosti, sociálny kapitál a ekonomická situácia. Ďalej významnými faktormi ovplyvňujúcimi zámery k ochrane pôdy v jednotlivých regiónoch sú: nedostatočná infraštruktúra, pomalá decentralizácia, a distribúcia kompetencií v novovytvorených regiónoch. Taktiež reštrukturalizácia vlastníckych práv týkajúca sa prírodných zdrojov a životného prostredia spojená so zmenami po roku 1989 a nasledujúcimi inštitucionálnymi zmenami. Pričom existujúce problémy a konflikty spojené s ochranou pôdy ako prírodného zdroja súvisia s nevyjasnenými vlastníckymi a užívateľskými právami, a s tým spojenou fragmentáciou pôdneho fondu, ktoré vedú k zanedbávaniu starostlivosti a degradácii pôdneho fondu. Ako hlavné potencionálne zdroje problémov a konfliktov boli rozpoznané tieto základné oblasti: na jednej strane trhové záujmy, spoločenské záujmy, a na strane druhej zámery k ochrane pôdy. Pričom je treba zdôrazniť, že hoci na prvý pohľad pôsobia tieto oblasti protichodne, ich zosúladenie v procese rozhodovania je nevyhnutné vzhľadom na možnosti rozvoja regiónov v budúcnosti.

### Regionálny sociálno-ekologický systém

Obrázok 2 ilustruje atribúty sociálno-ekologického systému s ohľadom na vzťahy medzi pôdou (ekologický systém) a spoločnosťou (sociálny systém). S odvolaním na Walkera et al (2004), ktorý identifikoval tri vzájomne spojené atribúty sociálno-ekologických systémov (SESs) determinujúce trajektórie ich budúceho vývoja: reziliencia, adaptabilita a transformabilita. Ďalej, sme pridali štvrtý atribút – podmienenosť. Podmienenosť môže byť charakterizovaná ako kapacita/schopnosť ekologického systému vytvárať, poskytovať a podmieňovať potenciály pre sociálno-ekonomický rozvoj v konkrétnom regióne. A tým nepriamo prostredníctvom vytvorenia určitej kvality životného prostredia ovplyvňovať kvalitu života obyvateľstva tohto regiónu.



Obr. 2. Sociálno-ekologický systém (podľa WALKER ET AL, 2004).

Konkrétne je možné ilustrovať logiku podmienenosti na príklade regiónov južného Slovenska, kde kvalita pôdy podmienila rozvoj poľnohospodárstva a vznik typickej poľnohospo-



dárskej krajiny. Následne z tejto orientácie vyplývajú dôsledky pre súčasný rozvoj v jednotlivých regiónoch vzhľadom na proces reštrukturalizácie ekonomiky. FALTAN (2004, In Buchta, 2006) poukázal na vznik zlej sociálnej a ekonomickej situácie v mnohých vidieckych sídlach v procese transformácie, ktorá je dôsledkom ekonomického útlmu podnikov a permanentného znižovania zamestnanosti v poľnohospodárstve (a tým i zvýšenej vidieckej nezamestnanosti oproti mestským oblastiam). Ďalej zdôraznili, že nedostatok primeraných pracovných príležitostí v týchto sídlach a v ich okolí vedie k rezidenčnej migrácii za prácou, čím dochádza k prehlbovaniu marginalizácie vidieckych oblastí.

### Aspekty, faktory a indikátory

Tabuľka 1 zobrazuje analyzované aspekty zastupujúce dimenzie trvalo udržateľného rozvoja, ich faktory a vybrané indikátory vzhľadom na charakteristiky a funkcie pôdy v jednotlivých regiónoch (úroveň okresov), predovšetkým však na kvalitu pôdy. Sledované faktory sú vyjadrené nasledovnými indikátormi:

- 1) kvalita pôdy, ktorá reprezentuje environmentálny aspekt a je vyjadrená bodovými hodnotami indikátorov:
  - bodové hodnoty Produkčného potenciálu pôd (podľa DŽATKO, 2002);
  - Úbytok poľnohospodárskej pôdy, získaný ako rozdiel vo výmere poľnohospodárskej pôdy v jednotlivých okresoch medzi rokmi 2006-2005 (podľa Štatistickej Ročenky o pôdnom fonde, 2005, 2006).
- 2) kvalita života ako agregovaný faktor vyjadrujúci ekonomické a sociálne aspekty pomocou Indexu kvality života v okresoch v roku 2001 (pre potreby analýzy vyjadrený v bodoch). Index kvality života zahŕňa nasledovné dimenzie kvality života: demografickú, vzdelanostno-informačnú, bezpečnostnú, materiálneho komfortu a sociálnych istôt, vybavenosti bytov, a environmentálnu dimenziu (spracované podľa Atlas obyvateľstva Slovenska, 2006).

**Tab. 1. Aspekty, faktory a indikátory**

aspekt	faktor	indikátor (body)
environmentálne	kvalita pôdy	Produkčný potenciál pôd
		Úbytok poľnohospodárskej pôdy
ekonomické	kvalita života	Index kvality života v okresoch (2001)
sociálne		
Zdroj: Džatko (2002), Štatistická Ročenka o pôdnom fonde (2005, 2006), Atlas obyvateľstva Slovenska (2006)		

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Rozdelenie regiónov

S cieľom eliminovať možné skreslenie vznikajúce na základe rozdielnej úrovne rozvoja jednotlivých regiónov<sup>2</sup> sme definovali nasledovné kritériá rozdelenia regiónov: po prvé, vidieckosť (výmera poľnohospodárskej pôdy, počet obyvateľov na poľnohospodársku pôdu, ekonomicky aktívny obyvateľia v poľnohospodárstve (podľa Atlas obyvateľstva Slovenska, 2006; Ira et al, 2005; Štatistická Ročenka o pôdnom fonde, 2005, 2006); po druhé, rozvinutosť (typológia regiónov v roku 2001, sociálno-ekonomická typológia okresov v roku 2001 podľa Atlas obyvateľstva Slovenska, 2006), a nakoniec typ regiónu (podľa IRA ET AL, 2005), toto kritérium bolo použité na špecifikáciu rozdelenia jednotlivých okresov). Skupiny a podskupiny okresov podľa vybraných kritérií rozdelenia okresov sú charakterizované nasledovne (Tabuľka 2):

- I. Ako prvá skupina silne podmieniteľných okresov, ktoré sú charakterizované vyššou výmerou poľnohospodárskej pôdy, nižšou hustotou osídlenia na km<sup>2</sup> poľnohospodárskej pôdy a vyšším počtom ekonomicky aktívnych obyvateľov v poľnohospodárstve. Tieto okresy je možné hodnotiť ako zaostávajúce v ekonomickom rozvoji, z čoho vyplýva aj relatívne vysoká podmieniteľnosť ich kvality života vzhľadom na pôdu a poľnohospodárstvo. Okresy sme rozdelili do dvoch podskupín: nerozvinuté a poľnohospodárske.
- II. Ako druhá skupina okresov stredne podmieniteľných – charakterizovaná priemernou výmerou poľnohospodárskej pôdy, strednou hustotou osídlenia na km<sup>2</sup> poľnohospodárskej pôdy a stredným počtom ekonomicky aktívnych obyvateľov v poľnohospodárstve. Skupinu tvoria dve podskupiny, a to: nerozvinuté a stagnačné až rozvinuté okresy.
- III. Ako tretia skupina mierne podmieniteľných okresov – tvorená okresmi s nižšou výmerou poľnohospodárskej pôdy, a teda relatívne vysokou hustotou osídlenia na km<sup>2</sup> poľnohospodárskej pôdy a tiež nízkym počtom ekonomicky aktívnych obyvateľov v poľnohospodárstve. Skupina sa skladá z nasledujúcich podskupín okresov: nerozvinuté až problémové, stagnačné až rozvinuté, a výrazne rozvinuté okresy.
- IV. Potom skupina prevažne nepodmieniteľných okresov patriacich k mestskému typu, s výskytom mestského centra a nízkym zastúpením poľnohospodárskej pôdy, vysokou hustotou osídlenia na km<sup>2</sup> poľnohospodárskej pôdy a nižším počtom ekonomicky aktívnych obyvateľov v poľnohospodárstve (vzhľadom na skôr priemyselné zameranie okresov). Okresy sme rozdelili do dvoch podskupín: okresy mestského typu a okresy s nízkou výmerou pôdy. Pre potreby analýzy sme vyradili podskupinu okresov mestského typu vzhľadom na prítomnosť mestského centra meniaceho do veľkej miery charakter okresu, vzhľadom na neprítomnosť tradičného vzťahu k pôde.

---

2 Napr. marginálne regióny, zaostávajúce v rozvoji, a stabilizované regióny, v ktorých už regionálny rozvoj nie je podmienený parametrami pôdy.

---

## Výsledky analýzy

Tabuľka 2 sumarizuje dosiahnuté výsledky korelačnej analýzy existencie, či neexistencie vzájomného vzťahu medzi sledovanými parametrami pôdy a kvalitou života v jednotlivých skupinách a podskupinách okresov. Ako prvé, najvyššie hodnoty významnosti vzájomnej korelácie vykazujú stredne podmieniteľné stagnačné až rozvinuté okresy medzi Úbytkom poľnohospodárskej pôdy a Indexom kvality života. Výsledky naznačujú existenciu interakcie medzi potencionálnymi rozvojovými aktivitami v regiónoch a tlakom vznikajúcim na prírodné zdroje. Druhá najvyššia korelácia bola identifikovaná v prevažne nepodmieniteľných okresoch z nízkou výmerou pôdy, a to medzi Produkčným potenciálom pôd a Indexom kvality života, čo poukazuje na vzácnosti pôdy ako prírodného zdroja.

**Tab. 2. Výsledky korelačnej analýzy**

Korelačná analýza				Index kvality života 2001
skupina	podskupina	okresy	Kvalita pôdy	r <sup>3</sup>
silne podmieniteľné okresy	nerozvinuté	Košice – okolie, Lučenec, Rimavská Sobota, Trebišov, Veľký Krtíš, Vranov nad Topľou;	Produkčný potenciál pôd	-0,463
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	-0,277
	poľnohospodárske	Dunajská Streda, Galanta, Komárno, Levice, Michalovce, Nové Zámky;	Produkčný potenciál pôd	0,437
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	0,178
stredne podmieniteľné okresy	nerozvinuté	Kežmarok, Krupina, Revúca, Rožňava, Sabinov, Snina, Sobrance, Zlaté Moravce;	Produkčný potenciál pôd	0,345
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	0,059
	stagnačné až rozvinuté	Bardejov, Brezno, Humenné, Liptovský Mikuláš, Malacky, Nitra, Nové Mesto nad Váhom, Poprad, Prešov, Senec, Šaľa, Trnava;	Produkčný potenciál pôd	-0,046
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	0,706
mierne podmieniteľné okresy	nerozvinuté - problematické	Bytča, Detva, Čadca, Gelnica, Levoča, Medzilaborce, Námestovo, Poltár, Stará Ľubovňa, Stropkov, Žarnovica;	Produkčný potenciál pôd	-0,120
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	-0,156
	stagnačné až rozvinuté	Bánovce nad Bebravou, Banská Štiavnica, Dolný Kubín, Hlohovec, Myjava, Partizánske, Ružomberok, Senica, Skalica, Svidník, Turčianske Teplice, Tvrdošín, Žiar nad Hronom;	Produkčný potenciál pôd	0,298
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	0,054
	výrazne rozvinuté	Banská Bystrica, Martin, Pezínok, Piešťany, Prievidza, Trenčín, Zvolen, Žilina;	Produkčný potenciál pôd	0,364
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	-0,494
3 pod 0,1 veľmi nízka – zanedbateľná; 0 – 0,3 nízka; 0,3 – 0,5 stredná; 0,5 – 0,7 vysoká; nad 0,7 veľmi vysoká významnosť korelácie, ďalej, negatívny hodnota vyjadruje, že zmeny vzťahov sú v opačných smeroch.				

prevažne nepodmieneniteľné okresy	mestského typu	–	–	–
	s nízkou výmerou poľnohospodárskej pôdy	Ilava, Kysucké Nové Mesto, Považská Bystrica, Púchov, Spišská Nová Ves.	Produkčný potenciál pôd	0,620
			Úbytok poľnohospodárskej pôdy (2006-2005)	0,196
*Zdroj: Džatko (2002), Štatistická Ročenka o pôdnom fonde (2005, 2006), Atlas obyvateľstva Slovenska (2006)				

Ďalej, výsledky korelačnej analýzy s dosiahnutou strednou hodnotou významnosti: po prvú v podskupine silne podmienených nerozvinutých okresoch, v ktorých kvalita pôdy vystupuje ako zdroj potencionálnych konfliktov medzi rozvojovými aktivitami a jej ochranou. Následne, po druhú, výsledky v podskupine mierne podmienených výrazne rozvinutých okresoch vykazujúce zápornú hodnotu, pričom v tomto prípade sa jedná o úlohu pôdy ako vzácnej zložky životného prostredia, ktorej ďalší úbytok by už viedol k zníženiu kvality života. Je nevyhnutné poukázať na zápornú mieru korelácie, ktorá naznačuje úlohu pôdy ako limitujúceho faktora a to predovšetkým v súvislosti k možnostiam jej záberov a potrebám jej ochrany.

Dosiahnuté veľmi nízke hodnoty korelácie jednotlivých parametrov pôdy a Indexu kvality života poukazujú na nepriame súvislosti existujúce v regiónoch, pričom podporujú identifikované vzťahy. Treba zdôrazniť nasledovné: v podskupine stredne podmienených stagnačných až rozvinutých okresoch sme identifikovali zanedbateľnú mieru korelácie medzi kvalitou pôdy, vyjadrenou Produkčným potenciálom pôd, a kvalitou života. Táto neexistencia vzájomného vzťahu podporuje nami identifikovanú tendenciu tlaku smerom k záberom pôdy.

## ZÁVER

Na základe výsledkov analýzy môžeme konštatovať, že pôda je vnímaná predovšetkým z hľadiska možnosti poskytnutia priestoru pre rozvoj investičných aktivít. Výsledky analýzy poukazujú na prítomnosť tlaku smerom k záberom pôdy, súvisiacu hrozbu devastácie životného prostredia a prírodných zdrojov (pôdy). S tým je následne spojené znižovanie kvality života v regiónoch ako dôsledok zhoršujúceho sa stavu životného prostredia.

Ďalej sme identifikovali prítomnosť nasledovných tendencií ako hrozieb pre ochranu pôdneho fondu, a to predovšetkým: prítomnosť tlaku smerom k záberom pôdy ako priestoru pre realizáciu investičných zámerov (pôda ako limitujúci faktor vzhľadom na možnosti jej záberu), a súvisiaci nedostatok uvedomovania si dôležitosti a významu pôdy ako prírodného zdroja (rastúci konflikt medzi rozvojovými záujmami a ochranou pôdy). Následne chceme zdôrazniť, že pôda sa stáva vzácnym prírodným zdrojom v súvislosti s úrovňou kvality života predovšetkým v rozvinutých regiónoch z nízkou výmerou poľnohospodárskeho pôdneho fondu (vzácnosť pôdy).

Identifikovaný tlak na záber pôdy chápeme ako bariéru k úspešnému regionálnemu rozvoju zakladajúceho sa na princípoch trvalej udržateľnosti v jednotlivých regiónoch Slovenska. Tento tlak chápeme v súvislosti s pretrvávajúcimi vplyvmi predošlého prístupu zhora – nadol (dedičstvo postkomunistickej spoločnosti), súvisiacou pasivitou a nízkou mierou participácie,

potom ako dôsledok reštrukturalizačných procesov a konfliktných spoločenských zámerov na regionálnej úrovni (investičné záujmy v protiklade k ochrane prírody). Pričom sme ako potenciál identifikovali potrebu iniciovania procesu učenia a podporu uvedomovania si dôležitosti ochrany pôdy, ktoré môžu byť začiatkom pre pohyb smerom k udržateľnému rozvoju regiónov.

## LITERATÚRA

- BUCHTA, S. 2004. *Sociálna diferenciácia vidieka a predikcia rozsahu dopadov štrukturálnej politiky na rozvoj vidieka. (Social differentiation and the outlook of structural policy's impact on rural areas)*. In *Ekonomika poľnohospodárstva*, roč. 4, č. 4., s. 37-45
- DŽATKO, M. 2002. *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdno-ekologických regiónov Slovenska*. Bratislava: Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy. 88 s. ISBN 80-85361-94-9.
- IRA, V. (editor) et al. 2005. *Podoby regionálnych odlišností na Slovensku, Príklady vybraných okresov*. Bratislava: Sociologický ústav SAV. 382 s. ISBN 80-855544-39-3.
- NOHLEN, D., NUSCHELER, F. 1993. *Handbuch der Dritten Welt, Band 1, Hamburg, 3<sup>rd</sup> edition of HDW* 1993, [http://www.inwent.org/E+Z/content/archive-eng/01-2004/tribune\\_art1.html](http://www.inwent.org/E+Z/content/archive-eng/01-2004/tribune_art1.html)
- ATLAS OBYVATEĽSTVA SLOVENSKA. 2006. Bratislava: Univerzita Komenského. 168 s.
- ŠTATISTICKÁ ROČENKA o PŔDNOM FONDE v SR. Bratislava: ÚGKaK SR, 2005. 155 s. ISBN 80-85672-78-2.
- ŠTATISTICKÁ ROČENKA o PŔDNOM FONDE v SR. Bratislava: ÚGKaK SR, 2006. 132 s. ISBN 80-85672-79-0.
- WALKER, B. et al. 2004. *Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems*. In *Ecology and Society* 9(2): 5, <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>
- ZAJÍČKOVÁ, Z. 2006. *Institutional Changes and Regional Development under the Reforming Process of the Slovak Republic (Case Study Spiš Region)*. Edition: Studies No.1. Bratislava: Prognostický ústav SAV. 132 s. ISSN 0862-9153.
-

# Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy č. 29

© Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava

Zodpovedný redaktor: Ing. Radoslav Bujnovský, CSc.

Oponent: Prof. Ing. Bohdan Juráni, CSc.

Grafická úprava: Ing. Karol Végh

Vydal: Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy

Gagarinova 10, Bratislava

Tlač: Edičné stredisko

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava

Gagarinova 10

Počet strán: 192

Náklad: 150 ks

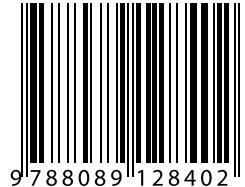
**ISBN 978-80-89128-40-2**

Texty neprešli jazykovou úpravou.





ISBN 978-80-89128-40-2



9 788089 128402