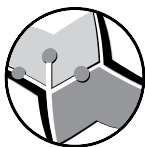


Výskumný
ústav
pôdoznaectva
a ochrany
pôdy
Bratislava

VÚPOP



SSCRI

Soil
Science and
Conservation
Research
Institute
Bratislava

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznaectva a ochrany pôdy

2008

30

Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy č. 30

Oponent: prof. Ing. Bohdan Juráni CSc.

Obsah

BUJNOVSKÝ R., VILČEK J.	Ekologické funkcie pôdy – ich spoločenský význam a hodnota.....5
DODOK R., SOBOCKÁ J., LAPIN M.	Modelovanie eróznej ohrozenosti v podmienkach klimatickej zmeny pomocou modelu RUSLE na pilotnom území PVOD Kočín 12
GREČO V., BEZÁKOVÁ Z., OLEJNÍKOVÁ K	Spaľovanie dreva a jeho vplyvna životné prostredie Marianky26
HANISKO Ľ., HRÍBIK J.	Úrodnotvorná reakcia hrušiek pestovaných v tvare štíhleho vretena v podmienkach karbonátovej černoze35
KOBZA J.	Tvorba niektorých degradačných fenoménov kontaminácie pôd v oblasti Žiarskej kotliny45
KOBZA J.	Poznámky ku genéze andozemných pôd a problém ich klasifikácie.....55
MAKOVNÍKOVÁ J.	Vyhodnotenie aktuálneho stavu a vývoja aktívneho hliníka vo vybraných skupinách pôd.....62
MALIŠ J.	Možnosti hodnotenia vlhkostného stavu pôdy pomocou nedeštrukčných metód70
NOVÁKOVÁ M., HALAS J., SCHOLTZ P.	Regresné modely detailnej priestorovej variability úrody pšenice ozimnej v roku 200577
PEKÁROVÁ E., KOVÁČIKOVÁ I.	Priestorové vymedzenie vhodnosti podmienok prostredia pre pestovanie vybraných druhov liečivých, aromatických a koreninových rastlín so zreteľom na pôdu93
SKALSKÝ R., TARASOVIČOVÁ Z., BALKOVIČ J., SCHMID E.	Vybrané problémy tvorby systému modelovania pre potreby optimalizácie využívania krajiny na celosvetovej úrovni 100
SOBOCKÁ J.	Kultizeme Slovenska a ich porovnanie s antrosolmi (wrb 2006) 113
SOBOCKÝ I., PIŠ V., NOVÁKOVÁ K.	Výskyt dusičnanov v drenážnych vodách poľnohospodárskych pôd SR..... 124
SOBOCKÝ I., NOVÁKOVÁ K.	Zásoby vody v zóne aerácie poľnohospodárskych pôd Borskej nížiny..... 133
STYK J, FULAJTÁR E., PÁLKA B., GRANEC M.	Aktualizovaný výpočet faktora erodovateľnosti pôdy (k-faktor) za účelom generovania detailnejšej digitálnej vrstvy..... 139
ŠIRÁŇ M.	Zmeny objemovej hmotnosti pôd na základe údajov monitoringu pôd SR 147
TAKÁČ J.	Produkčná účinnosť závlahy – poľný stacionárny pokus..... 153
TARASOVIČOVÁ Z., SKALSKÝ R.	Tvorba termínov sejby/sadenia a zberupre potreby modelovanie agroekosystému na globálnej úrovni 164

EKOLOGICKÉ FUNKCIE PÔDY – ICH SPOLOČENSKÝ VÝZNAM A HODNOTA

SOIL ENVIRONMENTAL FUNCTIONS – THEIR SOCIETAL IMPORTANCE AND VALUE

Radoslav BUJNOVSKÝ, Jozef VILČEK

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 821 73 Bratislava
e-mail: r.bujnovsky@vupop.sk*

Abstract

Similarly as ecosystem soil provides many services and goods that in soil science are named as soil functions. Besides biomass production, that is possible economically evaluate, the soil provides ecological functions that are priceless for the society. Sustainability of societal development requires maintenance of soil quality and soil functions - especially the ecological ones. Economic valuation of benefits of selected soil ecological functions within agricultural land is presented. Preliminary average value of selected ecological functions of agricultural soils in Slovakia represents 4943 € per hectare for water retention, 4720 € per hectare for filtration of organic pollutants (in fact including inorganic pollutants) and 4336 € per hectare for transformation of organic pollutants, respectively. Valuation of soil and its ecological functions seems as possible way for improvement of soil protection especially in modification of soil price at its permanent sealing but financial values should not to be used as a ground for forming ethical values, which are imminently connected with human approach towards soil and its degradation, and which are essentially needed by global society.

Key words: soil, soil functions, economic valuation

Abstrakt

Pôda obdobne ako ekosystém zabezpečuje viacero služieb a poskytuje statky ktoré sa v pôdozvedeckej terminológii nazývajú funkcie pôdy. Okrem produkcie biomasy rastlín, ktorú je možno ekonomicky hodnotiť, pôda zabezpečuje ekologické funkcie ktoré sú pre spoločnosť k nezaplateniu. Udržateľný rozvoj spoločnosti predpokladá udržiavanie kvality pôdy a jej funkcií – predovšetkým ekologických. Príspevok prezentuje ekonomické hodnotenie prínosov vybraných ekologických funkcií poľnohospodárskej pôdy pre spoločnosť. Priemerná ekonomická hodnota vybraných ekologických funkcií v rámci poľnohospodárskych pôd je nasledovná: schopnosti pôdy akumulovať vodu 4943 €·ha⁻¹, filtrácia organických polutantov vodu 4720 €·ha⁻¹ (v podstate zahŕňa aj anorganické polutanty) a 4336 €·ha⁻¹ transformácia organických polutantov. Hodnotenie pôdy a jej ekologických funkcií sa ukazuje ako možná cesta pre zlepšenie ochrany pôdy predovšetkým pri modifikácii ceny pôdy pri jej trvalých záberoch. Napriek tomu, oceňova-

nie nemôže byť použité ako základ pre formovanie etických hodnôt bezprostredne spojených s postojom človeka k pôde a jej degradácii, ktoré globálna spoločnosť tak naliehavo potrebuje.

Kľúčové slová: pôda, funkcie pôdy, ekonomické hodnotenie

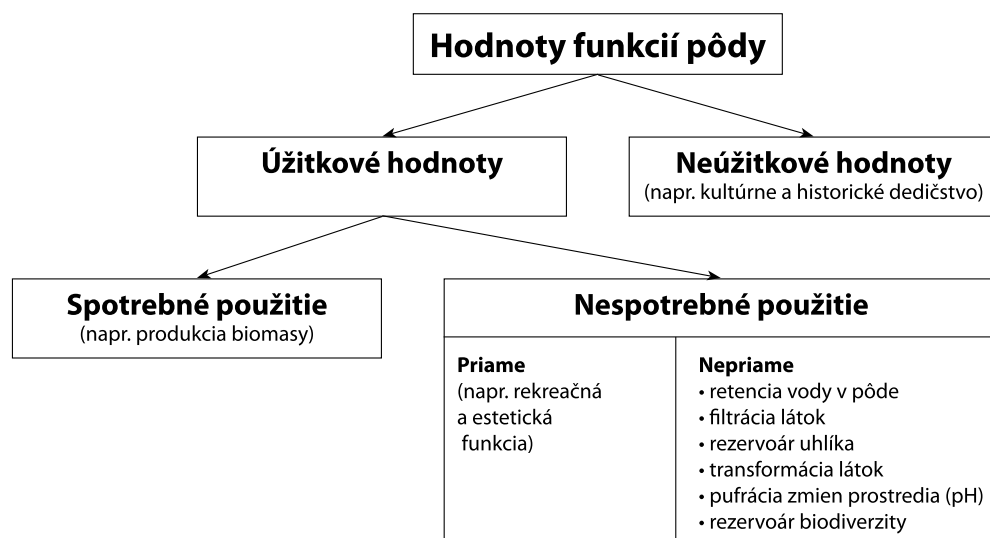
ÚVOD

Pôda ako zložka prírodného prostredia zohráva významnú úlohu tak pri produkcii biomasy rastlín a fungovaní ekosystému, ako aj kvality ľudského života čím primárne ovplyvňuje rozvoj spoločnosti. Táto skutočnosť je uvádzaná v publikáciách a dokumentoch počnúc poslednou dekády predchádzajúceho storočia (napr. BLUM, 1990; COUNCIL OF EUROPE, 1992; EUROPEAN COMMISSION, 2006). Podobne ako ekosystém, pôda zabezpečuje viaceré služby (DE GROOT A I., 2002) ktoré sa v pôdoznaleckej terminológii označujú ako funkcie pôdy. Popri produkcii biomasy, ktorú možno priamo ekonomicky hodnotiť, pôda zabezpečuje ekologické funkcie ktoré sú pre spoločnosť na nezaplátanie. Nedávno vypracovaný návrh Rámцovej smernice EÚ na ochranu pôdy (EUROPEAN COMMISSION, 2006) zahŕňa nasledovné ekologické, socio-ekonomické a kultúrne funkcie pôdy:

- produkcia biomasy
- akumulácia, filtrácia a transformácia živín, látok a vody
- rezervoár uhlíka (vo vzťahu k riešeniu problému klimatickej zmeny)
- rezervoár biodiverzity (prostredie pre živočíchy, druhy a gény)
- fyzické a kultúrne prostredie pre ľudí a ľudské aktivity
- zdroj surovín
- uchovávanie geologického a archeologického dedičstva.

Ako uvádzajú DE GROOT A I. (2002), životné podmienky a následne kvalita života človeka priamo aj nepriamo závisia od dostupnosti environmentálnych statkov (goods) a služieb (services), ktoré majú zvy-

Obrázok 1. Zaradenie služieb vyplývajúcich z ekologických funkcií pôdy do kategórií hodnôt



čajne nepeňažnú hodnotu. Ako uvádzajú SCOTT A I. (1998), služby predstavujú vlastnosti ekologických funkcií pôdy, z ktorých človek odvodzuje úžitky. Kým produkčná funkcia prináša úžitkové spotrebné hodnoty, hodnotené ekologické funkcie pôdy možno zaradiť do skupiny regulačných funkcií prírodného prostredia (napr. BROWN A I., 1993; DAILY, 1997; DEGROOT A I., 2002; HAWKINS, 2003) prinášajúcich úžitkové nespotrebné hodnoty (Obr. 1).

Udržateľný rozvoj spoločnosti predpokladá udržiavanie kvality pôdy a funkcií pôdy, predovšetkým ekologických. Popri vymedzení základných princípov hodnotenia ekologických funkcií pôdy je žiadúce taktiež hľadať spôsoby ich ekonomického hodnotenia (oceňovania) ktoré možno považovať za vklad do úpravy oceňovania poľnohospodárskej pôdy.

MATERIÁL AND METÓDY

Príspevok je zameraný na hodnotenie významu funkcií pôdy pre spoločnosť a ekonomických prínosov z vybraných ekologických funkcií poľnohospodárskych pôd. Ekonomické hodnotenie je pokračovaním hodnotenia ekologických funkcií prostredníctvom dostupného resp. základného súboru indikátorov nazývaný tiež „minimálny súbor indikátorov“, ktoré môžu zahrňovať tak parametre pôdy ako aj prostredia.

Analogicky k hodnoteniu nákladov spojených s hodnotením regulačných služieb ekosystému (napr. DEGROOT, A I., 2002; FABER A I., 2002; DAILY, 1997; HAWKINS, 2003; HACKETT, 2006), hodnotenie regulačných funkcií pôdy sa spravidla orientuje na:

- náklady, ktoré sa ušetrili, resp. ktorým sa predišlo vďaka výkonu funkcie (*avoided cost*)
- kompenzačné náklady (*replacement cost*), ktoré súvisia s navrátením poškodeného prírodného prostredia do pôvodného stavu.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Využívanie pôdy vo vzťahu k rozvoju ľudskej spoločnosti a funkciám pôdy v zjednodušenej forme ilustruje tabuľka 1.

Treba zdôrazniť, že v uvedenom systéme spravidla dominujú ekonomicky orientované spoločenské záujmy a to napriek skutočnosti, že spoločnosť sa hlási k viacerým ekologickým a sociálnym hodnotám pôdy a krajiny. Preferovanie ekonomických záujmov spolu s neochotou hľadať kompromisné riešenia vo vzťahu k ochrane zložiek prírodného prostredia sa skôr či neskôr premieta do degradácie pôdy a krajiny.

Ekonomické hodnotenie vybraných ekologických funkcií pôdy vychádza predpokladov a podmienok uvedených v tabuľke 2. Priestorovú distribúciu kategórií ekonomickej hodnoty schopnosti pôdy akumulovať vodu a transformovať organické polutanty ilustrujú obrázky 2 a 3.

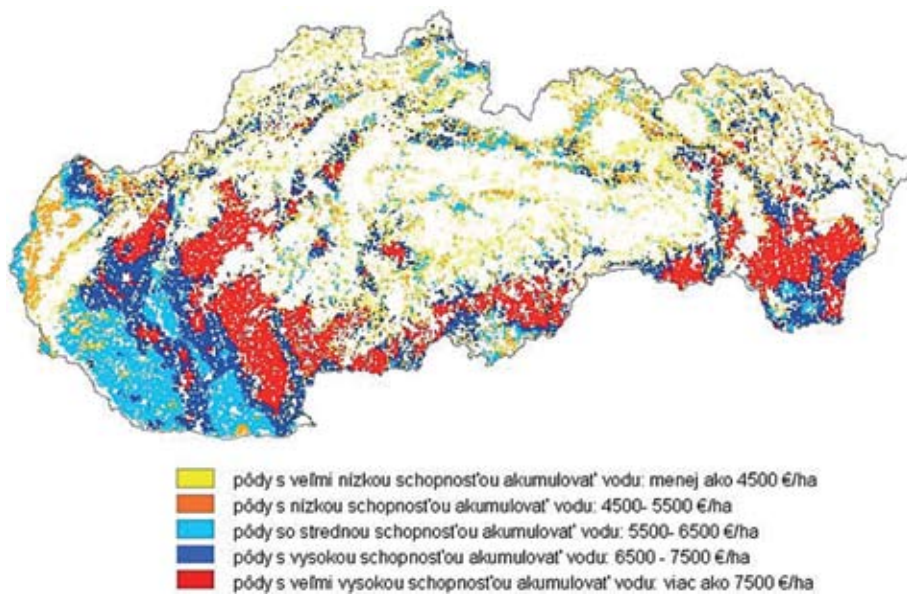
Tabuľka 1 Spoločenské záujmy spojené s využívaním pôdy a krajiny a ich spoločenské hodnoty ako východisko pri riešení udržateľného rozvoja spoločnosti

Spoločenské hodnoty pôdy a krajiny	Spoločenské záujmy súvisiace s využívaním pôdy a krajiny
Ekologické hodnoty (korešpondujúce funkcie – filtrácia vody a látok, premena látok, regulácia zmien prostredia, prostredie pre organizmy, rezerva) génová	Zachovanie kvality zložiek prírodného prostredia (pôda, voda, ovzdušie, biota) Zachovanie priaznivého prostredia pre život človeka
Sociálne hodnoty (korešpondujúce funkcie – produkcia biomasy rastlín, do určitej miery aj ostatné ekologické funkcie)	Zabezpečovanie dostatočného množstva kvalitných potravín ako príspevok pre zlepšovanie zdravotného stavu obyvateľstva Zachovanie ponuky možnosti alternatívneho využívania pôdy a krajiny
Socio-ekonomické hodnoty (korešpondujúce funkcie – zdroj surovín, priestor pre ľudské aktivity t.j. rozvoj infraštruktúry a priemyslu, bytová výstavba a pod.)	Rozvoj ekonomicky orientovaných aktivít človeka (ťažba surovín, rozvoj infraštruktúry a priemyslu, bytová výstavba a pod.) za účelom hospodárskeho rozvoja regiónov, rozvoja zamestnanosti a životnej resp. ekonomickej úrovne ľudí.

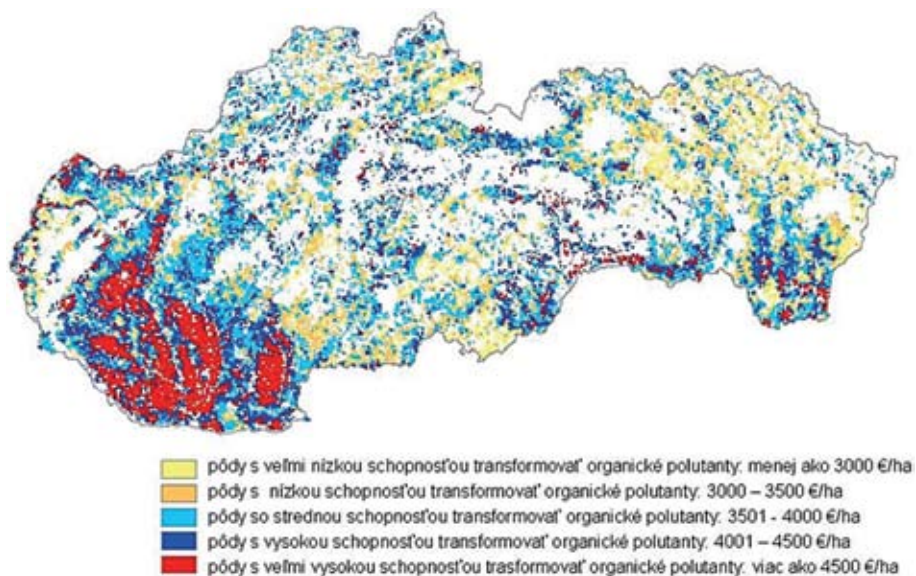
Tabuľka 2 Základné východiská pre ekonomické hodnotenie vybraných ekologických funkcií pôdy

Funkcia pôdy a indikátory hodnotenia	Úžitok resp. ušetrené náklady
Akumulácia vody Indikátory: retenčná vodná kapacita pôdy, hĺbka pôdy	Pôda je považovaná za rezervoár. Priemerné náklady na vybudovanie umelej nádrže predstavujú 2 € na 1 m ³ .
Filtrácia a imobilizácia organických polutantov Indikátory: Cox, Q4/6, hĺbka pôdy, priemerný ročný úhrn zrážok	Pôda je považovaná za čističku odpadových vôd, pričom náklady na čistenie odpadových 0,75 € za m ³ sú uvažované pri pôdach s vysokou schopnosťou filtrovať organické polutanty. Ekonomické hodnotenie nepriamo zahŕňa aj filtráciu anorganických polutantov; z toho dôvodu bude potrebné znížiť uvedenú cenu na polovicu a zachovať rozdielnu priestorovú distribúciu kapacity pôdy zabezpečiť filtráciu dvoch skupín polutantov.
Transformácia organických polutantov Indikátory: Cox, Q4/6, obsah ílu, pH, priemerná ročná teplota vzduchu	Predpokladá sa, že veľmi vysoká schopnosť pôdy transformovať organické polutanty sa rovná nákladom na dekontamináciu pôdy (nad 1 000 µg.kg ⁻¹ PAU). Priemerný obsah PAU V pôdach Slovenska je okolo 200 µg.kg ⁻¹ PAU. Predpokladané náklady na dekontamináciu sú 30 USD na tonu, pričom sa uvažuje vrstva pôdy 0-0,1 m.

Obrázok 2 Cena schopnosti pôd akumulovať vodu



Obrázok 3 Cena schopnosti pôd transformovať organické polutanty



Priemerná ekonomická hodnota vybraných ekologických funkcií v rámci poľnohospodárskych pôd je nasledovná: schopnosti pôdy akumulovať vodu $5000 \text{ €} \cdot \text{ha}^{-1}$, filtrácia organických polutantov vodu $4000 \text{ €} \cdot \text{ha}^{-1}$ (v podstate zahrňuje aj anorganické polutanty) a $3800 \text{ €} \cdot \text{ha}^{-1}$ transformácia organických polutantov.

Ako uvádza BUDAY A I. (2006) pomocou metódy určenia nákladov súvisiacich s nápravou následkov vyplývajúcich zo zníženia pozitívnej externality resp. konkrétnej služby ekosystému (protipovodňová ochrana, prevencia vodnej erózie, absorpcia SO_2 a NO_2 , zhodnocovania a zneškodňovania organického odpadu) boli uvedené funkcie (v období 2001-2004) sumárne ocenené v rozpätí 465 - 597 €/ ha. LINKES A I. (1996) ocenili mimoprodukčné funkcie pôdy SR na 830 €/ha. Odhad ekonomickej hodnoty vybraných ekologických funkcií pôdy výrazne presahuje doterajšie hodnotenia.

Hodnotenie pôdy a jej ekologických funkcií predstavuje možný spôsob zlepšenia ochrany pôdy predovšetkým pri úprave ceny pôdy resp. poplatkov pri jej trvalých záberoch. Význam ekonomiky vo vzťahu k ochrane pôdy a prírodných zdrojov spočíva predovšetkým v podpore resp. stimulácii ich ochrany a trvalo udržateľného využívania. V súlade s WINKLEROM (2006) možno konštatovať, že metódy ekonomickeho hodnotenia nemôžu zachytiť normatívne a etické aspekty hodnotenia ekologických funkcií pôdy. Ako uvádza SCIAMA (2007), oceňovanie nemôže byť použité ako základ pre formovanie etických hodnôt bezprostredne spojených s postojom človeka k pôde a jej degradácii, ktoré globálna spoločnosť tak naliehavo potrebuje.

ZÁVER

Ekonomicke hodnotenie ekologických funkcií pôdy ponúka širší pohľad na reálny význam a následne hodnotu pôdy pre spoločnosť. Odhadnutá ekonomická hodnota vybraných ekologických funkcií pôdy predstavuje príspevok k zlepšeniu ochrany pôdy predovšetkým pri úprave ceny pôdy resp. poplatkov pri jej trvalých záberoch.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0124-06 a 27019805 a tiež úlohy VaV „Multifunkčné využívanie pôd SR“ financovanej Ministerstvom pôdohospodárstva SR č. 2006 UO 27/090 03 03/090 03 19.

LITERATÚRA

- BLUM, W.E.H. 1990. *The challenge of soil protection in Europe*. Environ. Conserv. Vol. 17, 1990, p. 72-74.
- BROWN, K., A.I. 1993. *Economics and the conservation of global biological diversity*. Global Environmental Facility, Washington, D.C., 1993, 76 p.
- BUDAY, Š., A. I. 2006. *Rozvoj vidieka a zmeny v potravinových vertikálach v kontexte integrácie SR do EÚ*. Bratislava: VÚEPP, 2006, 231 s.
- COUNCIL OF EUROPE 1992. *Recommendation No. R (92) 8 of the Committee of ministers to member states on soil protection*. Brussels: Council of Europe, 1992, 4 p.
- DAILY, G.C. 1997. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington: Island Press, 1997, 394 p. ISBN 1-55963-475-8.
- DE GROOT, R.S., A.I. 2002. *A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services*. Ecological Economics, Vol. 41, 2002, p. 393-408.
-

-
- EUROPEAN COMMISSION 2006. *Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC*. COM 232 final, Brussels: European Commission, 2006, 30 p.
- FABER, S.C., A I. 2002. *Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services*. Ecological Economics, Vol 41, 2002, p. 375-392.
- HACKETT, S.C. 2006. *Environmental and natural resources economics. Theory, policy, and the sustainable society*. London: M.E. Sharpe, Inc., 2006, 524 p. ISBN 0-7656-1472-3.
- HAWKINS, K. 2003. *Economic valuation of ecosystem services*. Minnesota: University of Minnesota, 42 p.
- LINKEŠ, V., A I. 1996. *Prínosy z mimoprodukčných funkcií pôdy a z jej poľnohospodárskeho využívania*. Štud. správa. Bratislava: VÚPÚ, 1996, 16 s.
- SCIAMA, Y. 2007. *Towards a planet-wide ethic. A talk with Dominique Bourg*. Research EU, 2007, No. 52, p. 16-17.
- SCOTT, M.J., A I. 1998. *Valuation of ecological resources and functions*. Environmental Management, Vol. 22, 1998, p. 49-68.
-

MODELOVANIE ERÓZNEJ OHROZENOSTI V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY POMOCOU MODELU RUSLE NA PILOTNOM ÚZEMÍ PVOD KOČÍN

SOIL EROSION MODELING IN THE CLIMATE CHANGE CONDITIONS BY USING THE RUSLE MODEL IN THE PILOT AREA PVOD Kočín

Rastislav DODOK¹, Jaroslava SOBOCKÁ¹, Milan LAPIN²

¹Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava,
e-mail: r.dodok@vupop.sk

²Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, Bratislava

Abstract

In the pilot area of agricultural farm Kočín we predicted, by using of the RUSLE model, potential effects of the climate change on water erosion of soil threat. On the basis of climate scenario we calculated the increasing of rainfall runoff erosivity factor for predicted period of years 2011–2090 in about 5 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ in compared to value 15,4 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹, which is the measured average for years 1961–1990. The highest rainfall runoff erosivity values were calculated for climate scenario decades of 2011–2020, 2041–2050 and 2071–2080. From results of soil erosion threat modelling in the climate change ensues that the soil loss amount will markedly depend to soil management methods, mainly to cultivation and rotation systems. The most positive effects have contour tillage and no-tillage methods as well as mulching intercrops including in rotation.

Keywords: climate change, water erosion of soils, modelling

Abstrakt

V modelovom riešení pomocou modelu RUSLE sa na pilotnom území PVOD Kočín overovali možné účinky klimatickej zmeny na ohrozenie pôdy vodnou eróziou. Na základe údajov klimatického scenára sa vypočítalo zvýšenie erózneho účinku dažďa pre prognózované obdobie rokov 2011–2090 v priemere o 5 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ oproti hodnote 15,4 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹, čo je nameraný priemer pre obdobie rokov 1961–1990. Najvyššie hodnoty erózneho účinku dažďa boli vypočítané pre dekády klimatického scenára 2011–2020, 2041–2050 a 2071–2080. Z výsledkov modelovania erózneho ohrozenia v podmienkach klimatickej zmeny vyplýva, že množstvo odnosu pôdy bude výrazne závisieť od spôsobu hospodárenia na pôde, predovšetkým od agrotechnických zásahov a oševných postupov. Najpozitívnejší protierózny efekt má vrstevnicové obrábanie a bezorebné agrotechnické postupy ako aj zaradenie mulčovacích a nastieľacích medziplodín v oševnom postupe.

Kľúčové slová: klimatická zmena, vodná erózia pôdy, modelovanie

ÚVOD

Procesy erózie pôdy v súčasnosti predstavujú a v budúcnosti budú predstavovať pri predpokladanej klíme jeden z najrozšírenejších procesov degradácie pôdy na území Slovenska. Vodná erózia je degradačný proces rozšírený na takmer dvoch tretinách územia vyznačujúceho sa zvlneným reliéfom. Najvýraznejšie degradačné formy erózie sa prejavujú na pôdach vytvorených zo sypkých a nespevnených pôdotvorných substrátov. Najviac sú ňou postihnuté pahorkatiny, kotliny, horské a podhorské oblasti. V súčasných klimatických podmienkach je potenciálne ohrozených silnou až extrémnou pôdnou eróziou asi 35 % územia poľnohospodárskeho pôdneho fondu (JAMBOR, ILAVSKÁ, 1998).

Problém vodnej erózie sa dáva do súvisu najmä s vysoko produkčnými pôdami, ako sú černoze a hnedozeme, hlavne na sprašových pahorkatinách.

Celkovo najnebezpečnejším eróznym obdobím v podmienkach Slovenska je jar, kedy ešte nie je naplno rozvinutý vegetačný kryt a po dlhšom období sucha sa vyskytne intenzívna zrážka (JAMBOR, ILAVSKÁ, 1998). ANTAL (1994) udáva takéto rozdelenie erózneho odnosu počas roka: jar 47,5 %, zima 26,2 %, leto 21,1 %, jeseň 5,2 %. Mimoriadne nebezpečné sú letné búrky v máji a júni pri nedostatočne vyvinutom rastlinnom kryte okopaním.

Dažďová erózia je v našich podmienkach plošne najrozšírenejšia forma vodnej erózie a často sa stotožňuje s vodnou eróziou. Vodná erózia pozostáva z niekoľkých fáz (FULAJTÁR, JANSKÝ, 2001):

1. kvapková erózia spôsobená kinetickou energiou padajúcich kvapiek;
2. odtoková (ronová) erózia je spôsobená povrchovo odtekajúcou vodou, ktorá sa nestačí vsakovať do zeme. Môžeme ju rozdeliť na:
 - plošnú eróziu spôsobenú zrážkovou vodou odtekajúcou po celom povrchu svahu;
 - líniovú eróziu vzniknutú sústredením odtekajúcej vody do línií, sústredený odtok vymýva jarky a podľa ich veľkosti rozlišujeme ryhovú eróziu, pri ktorej možno vytvorené jarky zahrnúť pluhom, takže sú iba sezónnou formou a výmoľovú, vytvárajúcej trvalé jarky;
 - stržovú eróziu vzniknutú na svahoch husto rozčlenených výmoľmi, pričom sa celý svah zmení na rozbrázdnené zdevastované územie.

Dažďová erózia je funkciou vlastností erózneho činiteľa, čiže zrážok, ktorým je pôda vystavená a vplyvu erózných podmienok - reliéfu, rastlinného krytu a spôsobu obhospodarovania. Fyzikálne podložené modelovanie erózie je založené na matematickom vyjadrení procesu odtoku, pričom sa väčšinou uvažuje so 4 fázami (FULAJTÁR, JANSKÝ, 2001):

- uvoľnenie pôdných častíc dažďom,
- premiestnenie pôdných častíc dažďom,
- uvoľnenie pôdných častíc povrchovým odtokom,
- transport pôdných častíc povrchovým odtokom.

Vzhľadom na klimatický scenár Slovenska, v ktorom sa očakáva okrem iných klimatických ukazovateľov častejší výskyt náhlych búrok a privalových dažďov bude potrebné tieto entity zaviesť do novo koncipovaných scenárov klimatickej zmeny.

MATERIÁL A METÓDY

Na pilotnom území PVOD Kočín modelujeme eróziu ohrozenosť pomocou modelu RUSLE na štyroch parcelách. Na každej parcele sme vybrali jeden modelový erózný svah, pre ktorý sme modelovali odnos pôdy v t/ha.

Vstupné údaje pre model RUSLE sú:

- klimatické parametre: podľa scenára klimatickej zmeny CCCM97 (Lapin, Melo, 2004; Takáč a i., 2006) pre meteorologickú stanicu Jaslovské Bohunice;
- pôdne parametre – údaje z výberových sond Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd;
- parametre plodiny a obhospodarovania pôdy – údaje o osevných postupoch a manažérskych poľnohospodárskych praktikách na jednotlivých parcelách v rokoch 1989 až 2005. Pre každú parcelu bola vypracovaná aj alternatíva s protieróznymi agrotechnickými zásahmi v osevnom postupe.

RUSLE model

Empirický matematický erózný model RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, Revidovaná univerzálna rovnica straty pôdy, *Soil&Water Conservation Society, 1992*) 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 revízie USLE (Universal Soil Loss Equation – Univerzálna rovnica straty pôdy) zásadnými zmenami v spôsobe stanovenia jednotlivých faktorov rovnice.

Výpočet: na základe algoritmov univerzálnej rovnice straty pôdy (WISCHMEIER, SMITH, 1978)

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

kde A – priemerná ročná strata pôdy,

R – faktor eróznej účinnosti dažďa,

K – faktor erodovateľnosti pôdy,

L – faktor dĺžky svahu,

S – faktor sklonu svahu,

C – faktor vegetačného krytu a osevného postupu,

P – faktor protieróznych opatrení.

Vstupné údaje programu RUSLE

R faktor: priemerný mesačný úhrn zrážok, priemerná mesačná teplota, počet dní v roku s teplotou > 0° C, priemerná nadmorská výška daného územia, percentuálne rozdelenie eróznej účinnosti dažďa (% EI) v roku v 15-denných intervaloch;

K faktor: hydrologická skupina pôd (voľba na základe ponúk programu a manuálu), počet rokov zhutňovania povrchu zrážkami (výpočet na základe údajov o zrážkach), textúra povrchu pôdy, percento povrchu pôdy pokrytého skeletom (neerodovateľnými materiálmi).

Postup výpočtu K-faktora:

1. odhad priemernej ročnej hodnoty K faktora pomocou nomografu zabudovaného v programe – sú nutné tieto podklady: zrnitostné zloženie pôdy (% hliny a jemných častíc, piesku a ílu), obsah organického materiálu, kód štruktúry pôdy (možnosť voľby veľkosti zŕn od 1 do 5 mm), trieda priepustnosti pôdy, úprava vzhľadom k obsahu skeletu.
2. výpočet priemernej ročnej hodnoty K faktora v 15-denných intervaloch vegetačného obdobia pomocou podprogramu

LS faktor: počet úsekov svahu s rôznou sklonitosťou, spôsob stanovenia dĺžky úseku (meraná horizontálne alebo dolu po svahu), textúra pôdy, všeobecné využitie pôdy, sklon a dĺžka svahu pre každý úsek;

C faktor: možnosť voľby výpočtu C faktora ako časovo premenného alebo priemerného pre vegetačné obdobie podľa týchto vstupných údajov:

1. časovo premenný: % povrchu pôdy pokrytého skeletom, kód hodnoty B (určenie prevažujúceho typu erózie – ryhová alebo medziryhová) – možnosť voľby výpočtu hodnoty B pomocou podprogramu podľa druhu pôdy, sklonu a vegetačného krytu (možnosť použitia databáz CROP a OPERATION), počet rokov v rotácii, druh plodiny v každom roku rotácie, druh a postup agrotechnických operácií (dátum začiatku a konca) – výpočet množstva rastlinných zvyškov na povrchu pôdy po zbere.
2. nepremenný v čase: množstvo efektívnej koreňovej masy, % vegetačného pokryvu, priemerná výška spadú listov, drsnosť povrchu, % povrchu pokrytého vegetačnými zvyškami a skeletom, voľba spôsobu výpočtu hodnoty B (zadávajú sa priemerné ročné hodnoty).

P faktor: možnosť voľby výpočtu P faktora pre pravidelné alebo nepravidelné rozrušovanie povrchu pôdy agrotechnickými zásahmi. Boli uvažované obidva varianty: zadanie vstupných údajov pre výpočet jednotlivých subfaktorov, ktoré zahrňujú vplyv vrstevnicového obrábania, pásového striedania plodín a stálych bariérových prvkov, terasovania a pod.; presnejšie údaje: napr. prípustná dĺžka svahu, vzdialenosť terás, sklon svahu, kód výšky brázd, hydrologická skupina a pod.

Popis jednotlivých parciel so vstupnými údajmi pre model RUSLE

Parcela č. 8501/1

Dĺžka svahu horizontálna: 195 m

Sklon svahu: 10 %

Pôdne parametre:

výberová sonda č. V-19-17-95

pôdny typ: Hnedozem

hydrologická skupina pôd: C – stredne vysoký potenciál povrchového odtoku

textúra povrchu pôdy (USDA): silt loam

zrnitostné zloženie (USDA):

- hlina a jemné častice (0,001-0,1 mm): 67 %

- piesok (>0,1 mm): 10 %
- íl (<0,001 mm): 23 %

obsah organického materiálu: 1,08 %

kód štruktúry pôdy: 3 (hrudkovitá)

trieda priepustnosti pôdy: 2 – stredná až vysoká

Parametre plodiny a obhospodarovania pôdy:

Striedanie plodín v oševnom postupe v referenčnom období rokov 1989–2005: ozimná pšenica, kukurica siata na siláž, kukurica siata na siláž, hrach, ozimná pšenica, jarný jačmeň, kukurica siata na zrno, ozimná pšenica, jarný jačmeň, kukurica siata na siláž, jarný jačmeň, ozimná pšenica, jarný jačmeň, kukurica siata na siláž, kukurica siata na siláž, kukurica siata na siláž, ozimná pšenica. Štruktúra typu obrábania v tomto období bola nasledovná: v 9 rokoch orba po vrstevnici, v 4 rokoch záhonová orba, v 4 rokoch diskovanie.

Navrhnutá alternatíva spočíva v nahradení záhonovej orby orbou po vrstevnici a bezorbovou technológiou, v sebbe mulčovacích a nastielacích medziplodín a v nahradení kukurice hrachom v treťom roku oševného postupu spolu s aplikáciou maštalného hnoja.

Parcela č. 6502/1

Dĺžka svahu horizontálna: 150 m

Sklon svahu: 13 %

Pôdne parametre:

výberová sonda č. V-20-7-95

pôdny typ: Hnedozem

hydrologická skupina pôd: C – stredne vysoký potenciál povrchového odtoku

textúra povrchu pôdy (USDA): silty clay-loam

zrnitostné zloženie (USDA):

- hlina a jemné častice (0,001-0,1 mm): 65 %
- piesok (>0,1 mm): 10 %
- íl (<0,001 mm): 25 %

obsah organického materiálu: 0,86 %

kód štruktúry pôdy: 3 (hrudkovitá)

trieda priepustnosti pôdy: 2 – stredná až vysoká

Parametre plodiny a obhospodarovania pôdy:

Striedanie plodín v oševnom postupe v referenčnom období rokov 1997–2005 (do roku 1996 bola na parcele chmeľnica): kukurica siata na siláž, kukurica siata na siláž, jarný jačmeň, čakanka, jarný jačmeň, cukrová repa, jarný jačmeň, ozimná pšenica, jarný jačmeň. Štruktúra typu obrábania v tomto období bola nasledovná: v 6 rokoch orba po vrstevnici, v 2 rokoch záhonová orba, v 1 roku diskovanie. Navrhnutá alternatíva spočíva v nahradení záhonovej orby orbou po vrstevnici a v sebbe mulčovacích medziplodín.

Parcela č. 6501/1

Dĺžka svahu horizontálna: 135 m

Sklon svahu: 15 %

Pôdne parametre:

výberová sonda č. V-16-7-95

pôdny typ: Hnedozem

hydrologická skupina pôd: C – stredne vysoký potenciál povrchového odtoku

textúra povrchu pôdy (USDA): silt loam

zrnitostné zloženie (USDA):

- hlina a jemné častice (0,001-0,1 mm): 67 %
- piesok (>0,1 mm): 13 %
- íl (<0,001 mm): 20 %

obsah organického materiálu: 0,8 %

kód štruktúry pôdy: 3 (hrudkovitá)

trieda priepustnosti pôdy: 2 – stredná až vysoká

Parametre plodiny a obhospodarovania pôdy:

Striedanie plodín v oševnom postupe v referenčnom období rokov 1989–2005: ozimná pšenica, kukurica siata na siláž, jarný jačmeň, ozimná pšenica, kukurica siata na zrno, jarný jačmeň, ozimná pšenica, cukrová repa, jarný jačmeň, ozimná pšenica, cukrová repa, jarný jačmeň, ozimná pšenica, lucerna siata, lucerna siata, lucerna siata, lucerna siata. Štruktúra typu obrábkovania v tomto období bola nasledovná: v 7 rokoch orba po vrstevnici, v 4 rokoch záhonová orba, v 3 rokoch diskovanie.

Navrhnutá alternatíva spočíva v nahradení záhonovej orby orbou po vrstevnici, v sejbe mulčovacích a nastielacích medziplodín, vo vykonaní podmiatky po zbere ozimnej pšenice a v aplikácii maštalného hnoja.

Parcela č. 7302/1

Dĺžka svahu horizontálna: 240 m

Sklon svahu: 8 %

Pôdne parametre:

výberová sonda č. V-14-6-95

pôdny typ: Hnedozem

hydrologická skupina pôd: C – stredne vysoký potenciál povrchového odtoku

textúra povrchu pôdy (USDA): silty clay-loam

zrnitostné zloženie (USDA):

- hlina a jemné častice (0,001-0,1 mm): 68 %
- piesok (>0,1 mm): 6 %
- íl (<0,001 mm): 26 %

obsah organického materiálu: 0,81 %

kód štruktúry pôdy: 3 (hrudkovitá)

trieda priepustnosti pôdy: 2 – stredná až vysoká

Parametre plodiny a obhospodarovania pôdy:

Striedanie plodín v oševnom postupe v referenčnom období rokov 1989-2005: jarný

jačmeň, ozimná pšenica, ozimná repka, ozimná pšenica, kukurica siata na siláž, jarný jačmeň, ozimná repka, ozimná pšenica, kukurica siata na siláž, kukurica siata na siláž, ozimná pšenica, kukurica siata na siláž, ozimná pšenica, jarný jačmeň. Štruktúra typu obrábania v tomto období bola nasledovná: v 10 rokoch orba po vrstevnici, v 4 rokoch záhonová orba, v 3 rokoch diskovanie.

Navrhnutá alternatíva spočíva v nahradení záhonovej orby orbou po vrstevnici, v sejbe mulčovacích a nastielacích medziplodín, v sejbe kukurice do neobrobenej pôdy a v aplikácii maštalného hnoja.

Klimatické parametre

Ako vstupné klimatické údaje modelu RUSLE boli použité parametre meteorologickej stanice Jaslovské Bohunice podľa scenára klimatickej zmeny CCCM97.

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, FREIMUND, 1994):

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

pre roky z ročným zrážkovým úhrnom menej ako 850 mm a

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

pre roky s ročným zrážkovým úhrnom viac ako 850 mm.

Na základe R-faktora sa vypočítala aj hodnota 10-ročného prívalového dažďa EI_{10} podľa vzťahu (RENARD, FREIMUND, 1994):

$$EI_{10} = 5,954(R\text{-faktor})^{0,6987}$$

Na 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 $17,2 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ prekračuje len o $1,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ dlhodobú priemernú hodnotu R-faktora pre stanicu Kočín uvádzanú Malíškom ($15,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$) (1990, In: FULAJTÁR, JANSKÝ, 2001).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnotenie eróznej ohrozenosti pre jednotlivé parcely

Parcela č. 8501/1

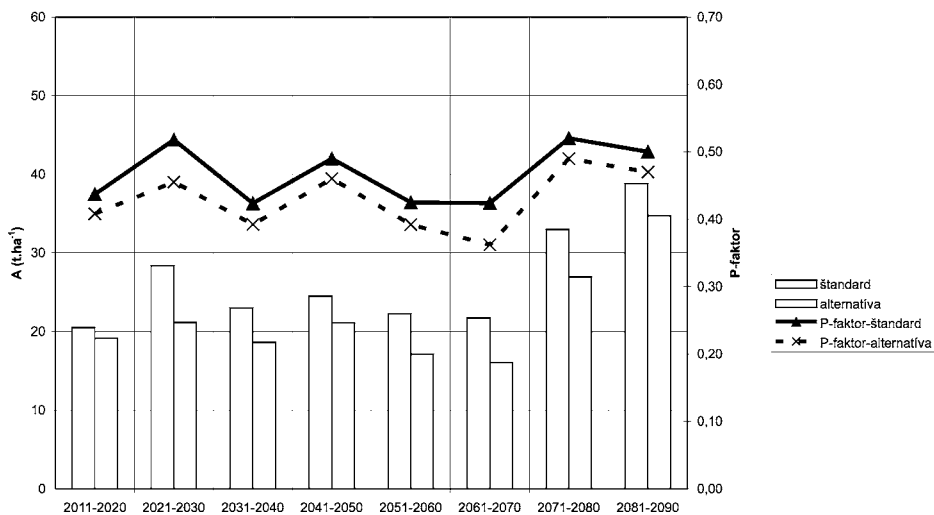
Prognózované hodnoty erózie v období rokov 2011-2070 sa pri štandardnom oševnom postupe a agrotechnike ako aj pri navrhnutej alternatíve pohybovali v rozmedzí hodnôt 16 až 28 t/ha, čo predstavuje kategóriu silnej erózie (Tab.1). V desaťročiach 2071-2080 pri štandardnom postupe a 2088-2090 pri obidvoch postupoch vystúpili hodnoty erózie nad 30 t/ha čo už predstavuje extrémnu eróziu. Navrhnutá alternatíva hospodárenia znížila hodnotu erózie v jednotlivých desaťročiach o 6 až 26 %, v celom prognózovanom období to bolo zníženie o 18 %.

Z premenných faktorov rovnice odnosu pôdy mali na priebeh erózie najväčší vplyv faktory P – účinnosť protieróznych opatrení (Obr. 1) a C – protierózny účinok vegetácie. Pomerne nízky vplyv mal faktor R- erózny účinok dažďa. Z konkrétnych protieróznych opatrení mali najvýznamnejší vplyv na priebeh erózie predovšetkým orba po vrstevnici a bezorbová technológia (diskovanie), ktorých častejšie používanie výrazne znižovalo jej hodnotu v danom desaťročí. Pozitívny vplyv malo zaradenie mulčovacej aj nastielajúcej medziplodiny do oševného postupu. Naopak, častejší výskyt kukurice a hrachu v oševnom postupe v danom desaťročí hodnoty erózie zvyšoval.

Tabuľka 1 Parcela č. 8501/1 – prognóza erózie pôdy pomocou modelu RUSLE

roky	agrotechnika+ oševný postup	Parametre modelu RUSLE						R-faktor (MJ.cm/ ha.h)	erózia (t/ha)
		R	K	LS	C	P	A		
2011–2020	štandard	135	0,40	3,50	0,11	0,44	9,1	23,1	20,5
	alternatíva	135	0,40	3,50	0,11	0,41	8,5	23,1	19,1
2021–2030	štandard	110	0,40	3,50	0,16	0,52	12,6	18,7	28,4
	alternatíva	110	0,40	3,50	0,14	0,46	9,4	18,7	21,2
2031–2040	štandard	109	0,40	3,50	0,16	0,42	10,3	18,6	23,0
	alternatíva	109	0,40	3,50	0,14	0,39	8,3	18,6	18,6
2041–2050	štandard	133	0,40	3,50	0,12	0,49	10,9	22,7	24,5
	alternatíva	133	0,40	3,50	0,11	0,46	9,4	22,7	21,1
2051–2060	štandard	93	0,40	3,50	0,18	0,43	9,9	15,8	22,3
	alternatíva	93	0,40	3,50	0,15	0,39	7,6	15,8	17,1
2061–2070	štandard	109	0,40	3,50	0,15	0,42	9,7	18,5	21,7
	alternatíva	109	0,40	3,50	0,13	0,36	7,2	18,5	16,1
2071–2080	štandard	135	0,40	3,50	0,15	0,52	14,7	23,0	33,0
	alternatíva	135	0,40	3,50	0,13	0,49	12,0	23,0	26,9
2081–2090	štandard	118	0,40	3,50	0,21	0,50	17,3	20,0	38,8
	alternatíva	118	0,40	3,50	0,20	0,47	15,5	20,0	34,7

Obrázok 1 Parcela č. 8501/1 – prognóza vývoja erózie (A) a P-faktora podľa modelu RUSLE



Parcela č. 6502/1

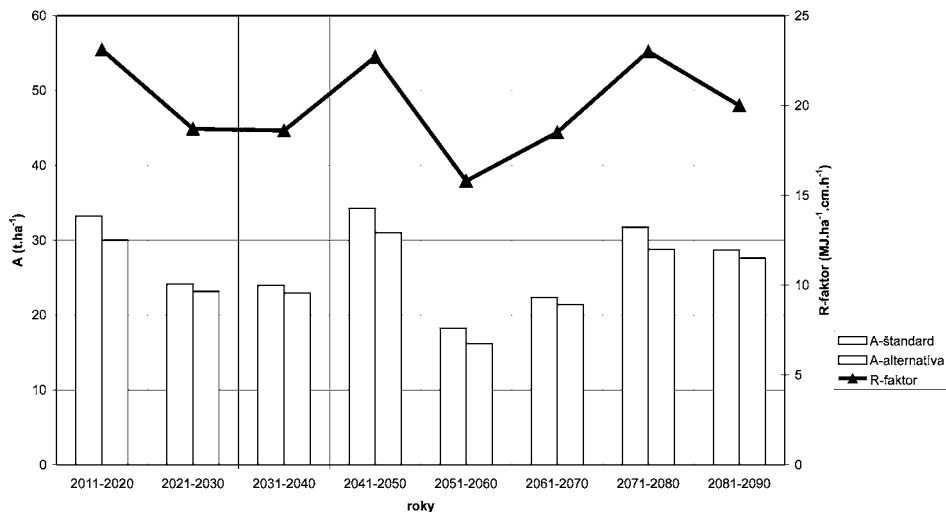
V 7 dekádach sa hodnoty prognózovanej erózie pôdy pohybovali v rozmedzí 16 až 29 t/ha, čiže v intervale silná erózia (Tab.2). V 3 dekádach 2011-2020, 2041-2050 a 2071-2080 vystúpila hodnota erózie predovšetkým pri štandardnom oševnom postupe a agrotechnike nad úroveň 30 t/ha, čo je extrémna erózia. Navrhnutá alternatíva hospodárenia znížila hodnotu erózie za celé monitorované obdobie v priemere o 7 %. V jednotlivých dekádach to bolo zníženie v intervale od 4 do 11 %.

Pri veľmi vyrovnanom chode C-faktora v celom prognózovanom období vplývali na hodnoty erózie na rozdiel od parcely 8501/1 predovšetkým výkyvy R-faktora, kedy hodnoty erózie nad 30t/ha v troch vyššie spomenutých dekádach korešpondujú s tromi najvyššími hodnotami erózneho účinku dažďa nad 20 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Obr. 2). Takisto hodnoty P-faktora výrazne vplývali na výšku erózie. Pozitívny vplyv malo vrstevnicové obrábanie pôdy. Zaradenie mulčovacích medziplodín mierne znižovalo hodnotu erózie v daných dekádach.

Tabuľka 2 Parcela č. 6502/1 - prognóza erózie pôdy pomocou modelu RUSLE

roky	agrotechnika+ osevný postup	Parametre modelu RUSLE						R-faktor (MJ.cm/ ha.h)	A (t/ha)
		R	K	LS	C	P	A		
2011–2020	štandard	135	0,38	3,98	0,15	0,48	14,8	23,1	33,2
	alternatíva	135	0,38	3,98	0,14	0,47	13,4	23,1	30,0
2021–2030	štandard	110	0,38	3,98	0,15	0,43	10,8	18,7	24,2
	alternatíva	110	0,38	3,98	0,15	0,41	10,3	18,7	23,2
2031–2040	štandard	109	0,38	3,98	0,15	0,43	10,7	18,6	23,9
	alternatíva	109	0,38	3,98	0,15	0,41	10,2	18,6	23,0
2041–2050	štandard	133	0,38	3,98	0,16	0,47	15,3	22,7	34,2
	alternatíva	133	0,38	3,98	0,15	0,46	13,8	22,7	31,0
2051–2060	štandard	93	0,38	3,98	0,15	0,39	8,1	15,8	18,3
	alternatíva	93	0,38	3,98	0,14	0,37	7,2	15,8	16,2
2061–2070	štandard	109	0,38	3,98	0,14	0,43	10,0	18,5	22,4
	alternatíva	109	0,38	3,98	0,14	0,41	9,6	18,5	21,4
2071–2080	štandard	135	0,38	3,98	0,15	0,46	14,1	23,0	31,7
	alternatíva	135	0,38	3,98	0,14	0,45	12,8	23,0	28,8
2081–2090	štandard	118	0,38	3,98	0,16	0,45	12,8	20,0	28,7
	alternatíva	118	0,38	3,98	0,16	0,43	12,3	20,0	27,6

Obrázok 2 Parcela č. 6502/1 – prognóza vývoja erózie (A) a R-faktora podľa modelu RUSLE



Parcela č. 6501/1

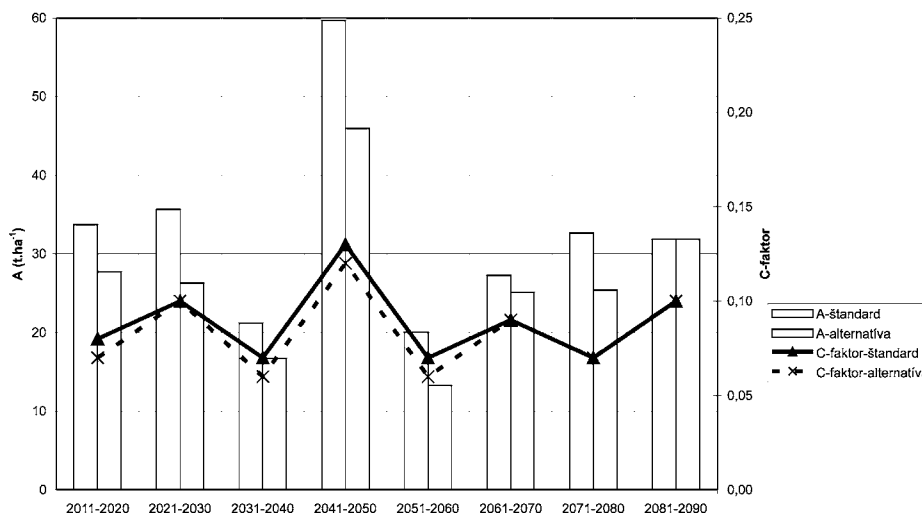
Na parcele č. 6501/1 boli namodelované najväčšie výkyvy hodnôt erózie v prognózovanom období (Tab. 3). Predovšetkým v dekáde 2041-2050 dosiahla hodnota erózie extrémnych 60 t/ha pri štandardnom oševnom postupe a agrotechnike resp. 46 t/ha pri alternatíve. Aj v dekádach 2011-2020, 2021-2030, 2071-2088 a 2081-2090 presiahli hodnoty erózie hlavne pri štandardnom hospodárení extrémnu úroveň 30 t/ha. V ostatných desaťročiach sa pohybovala erózia v rozmedzí 13-28 t/ha, teda v intervale silná erózia. Navrhnutá alternatíva oševného postupu a agrotechniky znížila hodnotu erózie v priemere o 19 % za celé prognózované obdobie (0 – 26 % v jednotlivých dekádach).

Na chod erózie v prognózovanom období mali veľký vplyv všetky 3 premenné faktory rovnice odnosu pôdy. Najvýraznejší vplyv mal faktor protierózneho účinku vegetácie-C, kedy hlavne pri častejšom výskyte cukrovej repy a kukurice v oševnom postupe v danej dekáde sa hodnota C-faktora a následne aj celkovej erózie výrazne zvyšovala (Obr. 3). Naopak pozitívny vplyv malo zaradenie mulčovacích a nastielacích medziplodín pri navrhnutej alternatíve. Hodnoty P-faktora vplývali na výšku erózie hlavne pri častejšom zaradení vrstevnicového obrábania, kedy sa jej hodnota zreteľne znižovala. Erózný účinok dažďa (R-faktor) mal významný vplyv na výšku erózie. Predovšetkým v dekáde 2041-2050 sa prejavil kumulatívny účinok zvýšenia všetkých troch premenných faktorov rovnice odnosu pôdy na extrémne vysoké hodnoty erózie. V navrhnutej alternatíve protieróznych agrotechnických postupov sa prejavil pozitívny vplyv zaradenia vrstevnicového obrábania ako aj zaradenia mulčovacích a nastielacích medziplodín do oševného postupu.

Tabuľka 3 Parcela č. 6501/1 - prognóza erózie pôdy pomocou modelu RUSLE

roky	agrotechnika+ oševný postup	Parametre modelu RUSLE						R-faktor	A
		R	K	LS	C	P	A	(MJ.cm/ ha.h)	(t/ha)
2011–2020	štandard	135	0,43	5,51	0,08	0,59	15,0	23,1	33,7
	alternatíva	135	0,43	5,51	0,07	0,55	12,4	23,1	27,7
2021–2030	štandard	110	0,43	5,51	0,10	0,61	15,9	18,7	35,6
	alternatíva	110	0,43	5,51	0,10	0,45	11,7	18,7	26,3
2031–2040	štandard	109	0,43	5,51	0,07	0,52	9,5	18,6	21,2
	alternatíva	109	0,43	5,51	0,06	0,48	7,5	18,6	16,7
2041–2050	štandard	133	0,43	5,51	0,13	0,65	26,6	22,7	59,7
	alternatíva	133	0,43	5,51	0,12	0,54	20,5	22,7	46,0
2051–2060	štandard	93	0,43	5,51	0,07	0,58	8,9	15,8	20,1
	alternatíva	93	0,43	5,51	0,06	0,45	5,9	15,8	13,3
2061–2070	štandard	109	0,43	5,51	0,09	0,52	12,2	18,5	27,3
	alternatíva	109	0,43	5,51	0,09	0,48	11,2	18,5	25,1
2071–2080	štandard	135	0,43	5,51	0,07	0,65	14,6	23,0	32,6
	alternatíva	135	0,43	5,51	0,07	0,51	11,3	23,0	25,4
2081–2090	štandard	118	0,43	5,51	0,10	0,51	14,2	20,0	31,8
	alternatíva	118	0,43	5,51	0,10	0,51	14,2	20,0	31,8

Obrázok 3 Parcela č. 6501/1 – prognóza vývoja erózie (A) a C-faktora podľa modelu RUSLE



Parcela č. 7302/1

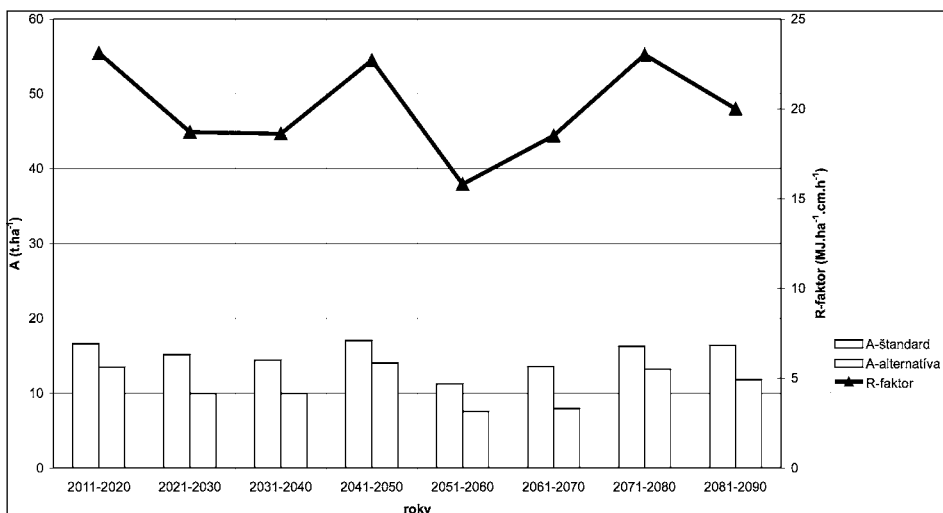
Výsledky prognózy vývoja erózie vykazujú jej najvyrovnanejšie aj najnižšie hodnoty na parcele č. 7302/1 (Tab. 4). Výška zmyvu pôdy sa v jednotlivých dekádach pohybovala v intervale 10 – 17 t/ha, čo predstavuje spodnú časť intervalu silnej erózie. V troch dekádach 2031-2040, 2051-2060 a 2061-2070 pri alternatívnom postupe bola jej hodnota pod 10 t/ha, čo predstavuje strednú eróziu. Navrhnutá alternatíva protierozných agrotechnických postupov znížila hodnotu erózie v jednotlivých dekádach o 18-41 %, za celé prognózované obdobie to bolo v priemere o 28 %, čo je viac než zo všetkých štyroch modelovaných parciel.

Pri pomerne vyrovnanom chode C-faktora a nižších hodnotách P-faktora boli určujúcim parametrom priebehu erózie v prognózovanom období výkyvy erózneho účinku dažďa-R (Obr. 4). Na pomerne výrazné zníženie hodnoty erózie v navrhutej alternatíve malo najvýznamnejší vplyv predovšetkým nahradenie záhonovej orby vrstevnicovým obrábaním. Na znížení hodnoty C-faktora sa podieľalo hlavne zaradenie mulčovacích medzplodín do osevného postupu.

Tabuľka 4 Parcela č. 7302/1 - prognóza erózie pôdy pomocou modelu RUSLE

roky	agrotechnika+ osevný postup	Parametre modelu RUSLE						R-faktor	A
		R	K	LS	C	P	A	(MJ.cm/ ha.h)	(t/ha)
2011–2020	štandard	135	0,40	2,21	0,16	0,39	7,4	23,1	16,6
	alternatíva	135	0,40	2,21	0,13	0,39	6,0	23,1	13,5
2021–2030	štandard	110	0,40	2,21	0,14	0,50	6,8	18,7	15,1
	alternatíva	110	0,40	2,21	0,13	0,35	4,4	18,7	10,0
2031–2040	štandard	109	0,40	2,21	0,16	0,42	6,4	18,6	14,4
	alternatíva	109	0,40	2,21	0,15	0,31	4,4	18,6	9,9
2041–2050	štandard	133	0,40	2,21	0,17	0,38	7,6	22,7	17,0
	alternatíva	133	0,40	2,21	0,14	0,38	6,3	22,7	14,0
2051–2060	štandard	93	0,40	2,21	0,13	0,47	5,0	15,8	11,2
	alternatíva	93	0,40	2,21	0,13	0,32	3,4	15,8	7,6
2061–2070	štandard	109	0,40	2,21	0,15	0,42	6,0	18,5	13,5
	alternatíva	109	0,40	2,21	0,12	0,31	3,5	18,5	8,0
2071–2080	štandard	135	0,40	2,21	0,16	0,38	7,3	23,0	16,3
	alternatíva	135	0,40	2,21	0,13	0,38	5,9	23,0	13,2
2081–2090	štandard	118	0,40	2,21	0,14	0,50	7,3	20,0	16,4
	alternatíva	118	0,40	2,21	0,14	0,36	5,3	20,0	11,8

Obrázok 4 Parcela č. 7302/1 – prognóza vývoja erózie (A) a R-faktora podľa modelu RUSLE



ZÁVER

Vplyv klimatickej zmeny na eróziu ohrozenosť poľnohospodárskych pôd sa bude prejavovať predovšetkým eróznym účinkom dažďa – R-faktor v rovnici zmyvu pôdy. Na základe klimatického scenára sme vypočítali jeho zvýšenie v priemere o $5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ pre prognózované obdobie rokov 2011–2090 oproti dlhodobému priemeru $15,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ pre roky 1961–1990 uvádzanému MALÍŠKOM (1990, In: FULAJTÁR, JANSKÝ, 2001). Najvyššie hodnoty R-faktora nad $20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ budú v dekádach 2011–2020 ($23,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), 2041–2050 ($22,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) a 2071–2080 ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Z výsledkov modelovania eróznej ohrozenosti v podmienkach klimatickej zmeny na štyroch modelových parcelách pilotného územia PVOD Kočín pomocou modelu RUSLE vyplýva, že vplyv zmeny klimatických podmienok prejavujúcich sa eróznym účinkom dažďa na výšku odnosu pôdy výrazne závisí od spôsobu hospodárenia na pôde, teda od osevných postupov a agrotechnických praktík. Výška odnosu pôdy pri vysokej eróznej účinnosti dažďa sa výrazne zvyšuje pri záhonovej hlbokorobnej orbe ako aj pri častom výskyte kukurice, cukrovej repy a hrachu v osevnom postupe na erózne ohrozených svahoch. Výsledky modelovania potvrdzujú veľmi pozitívny protierózny účinok vrstevnicového obrábania, bezorebných postupov a zaradenia mulčovacích a nastielacích medziplodín do osevného postupu.

V rámci protieróznych opatrení bude potrebné implementovať a uplatňovať trvalú a účinnú protieróziu ochranu poľnohospodárskej pôdy vykonávaním ochranných agrotechnických opatrení podľa stupňa erózie poľnohospodárskej pôdy, ktoré sú:

- výsadba účelovej poľnohospodárskej a ochrannej zelene;
- vrstevnicová agrotechnika;
- striedanie plodín s ochranným účinkom;
- mulčovacia medziplodina kombinovaná s bezorbovou technikou;
- bezorbová agrotechnika;
- osevné postupy so striedaním plodín s ochranným účinkom;
- usporiadanie honov v smere prevládajúcich vetrov;
- iné opatrenia, ktoré určí pôdna služba podľa stupňa erózie poľnohospodárskej pôdy.

LITERATÚRA

- ÁNTAL, J. A. I. 1994. *Erózia na pôdach*. Rozborová úloha. Nitra: VŠP, 1994, 84 s.
- ARNOLDUS, H.M.J. 1977. *Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco*. FAO Soil Bulletin, No. 34, 1977, p. 39-51.
- FULAJTÁR, E. - JANSKÝ, L. 2001. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*, 1. vyd. Bratislava: VÚPOP, 2001, 310 s. ISBN 80-85361-85-X.
- JAMBOR, P. - ILAVSKÁ, B. 1998. *Metodika protierózneho obrábania pôdy*. Bratislava: VÚPOP, 70 s. 1998, ISBN 80-85361-46-9.
- LAPIN, M. - MELO, M. 2004. *Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results*. J. of Hydrology and Hydromechanics, Vol. 52, 2004, No. 4, p. 224-238.
- RENARD, K.G. - FREIMUND, J.R. 1994. *Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE*. J. of Hydrol., No.157, 1994, p. 287-306.
- TAKÁČ, J. A. I. 2006. *Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti: Záverečná správa štátneho projektu*. Bratislava: Hydromeliorácie, š.p., 2006, 109 s.
- WISCHMEIER, W.H. - SMITH, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses - Guide to conservation planning*. In: Agricultural Handbook No. 537, Washington: USDA, 1978, 85 p.

SPAĽOVANIE DREVA A JEHO VPLYV NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE MARIANKY

WOOD COMBUSTION AND ITS INFLUENCE ON MARIANKA VILLAGE ENVIRONMENT

Vladimír GREČO, Zuzana BEZÁKOVÁ, Katarína OLEJNÍKOVÁ

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

Abstrakt

V obci Marianka sa uskutočnil monitoring polycyklických aromatických uhľovodíkov (PAU) v pôdach, ktorých pôvod je v sedimentácii emisií prevažne zo spaľovania dreva ako hlavného zdroja tepla pri vykurovaní domov drevom v obci. Priemerná nameraná hodnota PAU v obci bola $1,53 \text{ mg.kg}^{-1}$ pôdy, so významnými rozdielmi kontaminácie pôd s PAU na nezastavaných okrajoch obce a zastavaným centrom obce. Pri porovnaní pôd, ktoré boli záhradkármi hnojené drevným popolom sa zistili nadlimitné koncentrácie PAU v pôdach. Koncentrácie rizikových prvkov v pôdach boli v pod limitných hodnotách s výnimkou jedného zo sledovaných pozemkov, ktorý bol vysoko kontaminovaný s PAU a rizikovými prvkami. PAU sú hlavnými nežiaducimi látkami v pôdach obce Marianka, ktorých priemerná hodnota u vzoriek odobratých v záhradách je vyššia ako pripúšťa zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy.

Kľúčové slová: PAU, rizikové prvky, drevný popol, jemné častice, emisie, pôda

Abstract

In the village Marianka has been carried out monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil, which origin is in the sedimentation of emissions mainly from wood burning as main source of heat by house heating with wood in the village. The mean measured value of PAHs in the village soils has been 1.53 mg.kg^{-1} , with significant differences of soil contamination with PAHs in peripheries of the village without buildings and in the village centre. By comparison of the soils, which were fertilized with wood ash is discovered excess of PAHs concentrations in soils. The concentrations of hazardous elements in soils were in low concentrations values with exception of one observed location with high concentration of PAHs and hazardous elements. The PAHs are main undesirable substances in the soils of Marianka village which mean value of the garden samples is higher than acceptance level of Act No. 220/2004 on protection and use of agricultural soil.

Keywords: PAH, hazardous elements, wood ash, fine particulate, emission, soil

ÚVOD

V mnohých domácnostiach, hlavne na vidieku, sa tradične používa spaľovanie dreva v krboch alebo kachliach na vyhrievanie miestností alebo domov. Predovšetkým v obciach, ktoré sú lokalizované v dolinách, sú emisie zo spaľovania či už uhlia alebo dreva spolu s dopravou najväčšími znečisťovateľmi ovzdušia, resp. pôdy.

Pri kúrení drevom obyčajne dochádza k nekompletnému spaľovaniu drevnej hmoty za vzniku plynných látok, medzi ktoré patria oxid uhličitý, uhoľnatý, oxidy dusíka, stopy oxidov síry, ale vznikajú aj rôzne prchavé organické látky. Ďalej vznikajú jemné častice o veľkosti niekoľkých mikrometrov (sú označované ako PM_{2,5} a PM₁₀), ktoré spolu so sadzami a jemnými časťami popola sú emitované do ovzdušia a sú viditeľné ako dym. Zvyšok po spálení dreva je popol.

Plynné látky

Samotné horenie dreva je komplikovaný proces, kde musí dôjsť k termálnej dekompozícii, tzv. pyrolýze celulózy, hemicelulózy a lignínu, za vzniku pyrolýznych plynov.

Napr. pyrolýza celulózy sa skladá z pomalých a rýchlych pyrolýznych reakcií, pri ktorých sa uvoľňuje a spotrebovávajú teplo. Pyrolýznymi produktami sú také látky ako C, H₂O, CO, CO₂, RCOOH, RCHO, ROH, CH₂CO, CH₄, C₂H₆, H₂, C₂H₄, C₂H₂, vznikajú voľné radikály CH, CH₂, CH₃, CHO, atď.

Je potrebné poukázať na nebezpečné voľné radikály v dyme, ktoré vznikajú pri horení dreva a sú chemicky aktívne 20 minút, pokiaľ voľné radikály z cigaretového dymu sú chemicky aktívne iba po dobu 30 sekúnd. Ak sa vdychuje dym z horiaceho dreva, potom voľné radikály z tohto dymu pôsobia na bunky ľudského tela štyridsaťkrát dlhšie ako voľné radikály z cigaretového dymu (LACHOCKI A KOL., 1992). Odborníci z EPA odhadujú, že riziko vzniku rakoviny je dvanásťkrát väčšie pri vdychovaní dymu zo spaľovaného dreva, ako z cigaretového dymu, ak sa porovnajú rovnaké objemy vdychovaného dymu. Ďalšími nebezpečnými látkami, ktoré vznikajú pri horení dreva sú dusivý CO₂, toxický CO, metán a iné uhľovodíky ako napr. zdraviu škodlivý benzén, etén, etýn, ako aj furán a jeho substituenty. Osobitnú kapitolu tvoria z látok vznikajúcich pri horení dreva dioxíny. Podľa správy (EPA, 2005) v USA spaľovanie dreva patrí medzi najväčšie zdroje dioxínov.

Jemné častice

Spaľovanie dreva, ako bolo spomenuté už vyššie, obyčajne nie je dokonalé. Závisí to od podmienok za akých sa spaľuje drevo, napr. množstva vody v dreve, od množstva vzduchu privedeného do spaľovacieho priestoru kde dochádza k premiešavaniu vzduchu s pyrolýznymi plynmi aby sa vykonalo ich kompletne spaľovanie, alebo naopak dochádza k ochladzovaniu plynov a nedochádza k ich spaľovacím reakciám. Ako nedostatočné premiešavanie pyrolýznych plynov tak aj ochladzovanie pyrolýznych plynov vedie k nižšej efektívnosti spaľovania a k tvorbe jemných častíc, ktoré predstavujú skondenzované rôzne organické látky vzniknuté pri nedokonalom spaľovaní. Hlavné faktory, ktoré majú vplyv na tvorbu jemných častíc sú stupeň horenia, veľkosť ohniska, závisia od typu krbu a kachlí, či sa spaľuje mäkké alebo tvrdé

drevo a od obsahu vody v dreve (HALL, DEANGELIS, 1980). Za jemné častice sa považujú častice o veľkosti 2,5 mikrometra a menšej, ktoré môžu byť kvapalné alebo tuhé. Práve vdychovanie týchto jemných častíc spôsobuje kašeľ a dráždenie, dlhšie vdychovanie týchto jemných častíc je spojené so zníženou funkciou pľúc, respiračnými chorobami, môžu prispievať k vzniku rakoviny, srdečných chorôb a k zmenám v DNA. Tieto veľmi jemné častice s priemerom približne 2,5 mikrometra (pre porovnanie ľudský vlas má v priemere 70 mikrometrov) prechádzajú až do pľúcnych alveol a nie sú zachytené vyšším respiračným systémom. Môžu slúžiť ako nosiče baktérií a vírusov, obsahovať toxické látky, ktoré potom v alveolách prechádzajú do krvného systému, ďalej sa môžu zhlukovať do väčších celkov a vytvárať nebezpečné štrukturálne a chemické zmeny v pľúcach.

Jemné dymové častice sú tak malé, že nie sú zadržované oknami ani dverami a prechádzajú do miestností aj keď sú okná a dvere zatvorené. Znečistenie vzduchu týmito časticami v miestnostiach môže dosiahnuť hodnôt až 70% v porovnaní s vonkajšími hodnotami jemných častíc.

Keď sa porovnával vplyv dopravy a spaľovania dreva na znečistenie ovzdušia, tak v oblastiach kde sa kúri drevom je znečistenie ovzdušia väčšie spaľovaním dreva ako z dopravy (LEWTAS, 1991; EUROPEAN COMMISSION, 2008).

Hlavnou zložkou jemných častíc je levoglukózan (1,6 anhydroglukóza), ktorý vzniká pri primárnej pyrolýze celulózy odštiepením molekuly vody z glukózových jednotiek vzniknutých hydrolyzou celulózy. FINE A KOL. (2004) našli pri chemických analýzach jemných častíc okrem levoglukózanu viac ako 250 rôznych chemických organických látok. Sú to rôzne skupiny organických látok ako n-alkány, n-alkény, n-alkoholy, n-alkanály, n-alkánové kyseliny, n- n-alkénové kyseliny, alkándiové kyseliny, metyl alkanáty, etyl alkanáty, metyl alkenoáty, ďalej guaiakol a jeho rôzne substituenty, syringol a jeho substituenty, substituované fenoly a benzény, látky zo skupiny PAH, alkyl-PAH a oxy-PAH, rôzne deriváty cukrov, kumaríny a flavonoidy, furány, diterpenoidy, triterpenoidy, fytosteroidy, squalén, tokoferoly a ďalšie komplexné organické látky. Jemné častice obsahujú ďalej prvky ako Si, S, P, Cl, K, Cu, Zn, Mn, Br, Rb, Sr, Pb ako aj nitráty, sulfáty, chloridy a amoniak. Organický uhlík v závislosti od spaľovaného dreva (mäkké alebo tvrdé) bol zistený pri jemných časticách v hodnotách 43,6-77,8 hmotnostných percent a elementálny uhlík v hodnotách 3,3-22,8 hmotnostných percent (FINE A KOL., 2004).

Niektoré štúdie, ktoré sa týkajú emisií (FINE A KOL., 2001, 2002, 2004) poukazujú na fakt, že drevo spaľované v kachliach produkuje menej jemných častíc ako drevo spaľované v krboch. Pri spaľovaní vznikajú množstvá jemných častíc v hodnotách 1-7 g.kg⁻¹ dreva (McDONALD A KOL., 2000; SKREIBERG A KOL., 1997) avšak iní (BURNET A KOL., 1986) uvádzajú množstvá až 20 g.kg⁻¹.

Keď sa sledovali nebezpečné látky, ktoré sú zložkou jemných častíc ako sú PAU a alkyl-PAU, tak pri spaľovaní napr. tvrdého dreva v krboch obsahovali jemné častice menšie množstvá PAU a alkyl-PAU v porovnaní s drevom spaľovaným v kachliach. Všeobecne vznikajú pri spaľovaní mäkkého dreva (napr. borovice) väčšie množstvá PAU a alkyl-PAU ktoré sú súčasťou jemných častíc, ako pri spaľovaní dreva tvrdého (napr. duba), pričom nezáleží na tom či sa drevo spaľovalo v krboch alebo v kachliach. Bolo nájdených celkovo 45 rôznych polycyklických aromatických uhľovodíkov, z ktorých hlavne PAU s viacerými kruhmi patria me-

dzi zdraviu škodlivé (FINE A KOL., 2004). Patria sem aj karcinogénne PAU ako benzo(a)antracén, chryzén, benzo(b)fluorantén, benzo(k)fluorantén, benzo(a)pyrén, indeno(1,2,3-cd)pyrén, dibenzo(ah)antracén a benzo(ghi)perylén.

Emisie však spôsobujú okrem zdravotných problémov, ktoré súvisia s ich vdychovaním aj znečistenie pôd a vôd v okolí kde sa spaľuje drevo látkami, ktoré boli spomenuté vyššie. Dymové častice môžu sedimentovať v závislosti od transportných podmienok v ovzduší v rôznych vzdialenostiach od zdroja emisií. Pri inverziách sú sedimentované blízko zdrojov, pri dobrých rozptylových podmienkach môžu byť transportované do väčších vzdialeností od zdroja. Ak sa sledujú množstvá PAU v pôdach, tak typické množstvá PAU v lesnej pôde sú 5-100 $\mu\text{g.kg}^{-1}$, avšak vo vidieckych pôdach môžu dosahovať ojedinele hodnoty až 1000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ PAU. Tu však je potrebné zobrať do úvahy aj iné zdroja karcinogénnych PAU ako je spaľovanie dreva napr. dopravu. Najväčšie množstvá sa dajú očakávať v mestských pôdach a to v hodnotách bežne 600-3000 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ z rôznych zdrojov znečistenia. (MENZE A KOL., 1992).

Drevný popol

Drevný popol sa nachádza na zozname hnojív a pôdnych pomocných látok, ktoré sa môžu používať v ekologickej poľnohospodárskej výrobe podľa zákona č. 421/2004 Z.z. o ekologickom poľnohospodárstve. Bežne sa s drevným popolom hnojí v záhradách domov, v ktorých sa spaľuje drevo, keď záhradkári nechcú používať na hnojenie záhradiek umelé hnojivá, ktoré sú komerčne dostupné, ale používajú drevný popol ako ekologické hnojivo. Na Slovensku a ani v Európe, s výnimkou Dánska, neexistuje legislatíva, ktorá by určovala kritéria pre hnojenie s drevným popolom v ekologickom poľnohospodárstve. Na Slovensku nie sú určené limity pre maximálne prípustné množstvá ťažkých kovov a PAU v drevnom popole a ani maximálne množstvá drevného popola používaného ako ekologické hnojivo na hektár pôdy/rok. Pri hnojení drevným popolom drobnými pestovateľmi zeleniny a ovocia v záhradkách nie je možné z ekonomických dôvodov, aby si dali robiť chemické analýzy ich vlastného drevného popola, resp. hnojených ním pôd, vzhľadom na ceny chemických analýz. Zastúpenie makroprvkov a mikroprvkov v drevnom popole z rôznych druhov drevín je zhrnuté v tabuľke (MISTRA A KOL., 1993; MINGLE A KOL., 1968).

Tabuľka 1 Obsah makroprvkov a mikroprvkov v popole rôznych druhov drevín (mg.kg^{-1})

Ihličnaté dreviny				Listnaté dreviny					
Prvky	<i>Pinus banksiana</i>	<i>Pinus sp</i>	<i>Tsuga heterophylla</i>	<i>Betula sp</i>	<i>Acer sp</i>	<i>Populus tremuloides</i>	<i>Populus sp</i>	<i>Quercus rubra</i>	<i>Quercus</i>
Al	33,3	4,7	11,1	0	20,1	1,4	3,5	6,8	n
Ca	387,4	290,5	421,7	466,0	401,7	211,7	256,7	365,8	313,5
Fe	35,0	5,8	9,1	20,3	11,9	2,6	3,2	nemerané	0,9
K	22,5	162,4	25,3	36,3	31,9	112,5	79,3	60,8	102,5
Mg	33,2	70,6	79,0	25,3	117,0	35,5	90,9	52,0	75,7
Mn	39,0	40,4	19,0	47,0	27,0	1,4	4,5	14,9	1,4
Na	23,0	0,6	8,2	9,6	16,3	0,6	213,0	0,8	n
P	12,2	8,4	9,2	12,6	4,8	11,8	9,5	15,6	5,6
S	10,4	10,4	5,6	12,8	5,6	7,0	10,2	18,0	12,1
Si	74,8	n	46,7	14,0	46,3	1,1	n	N	1,3
n - nestanovené									

Nórski výskumníci však našli pri analýzách drevného popola po spálení odobratých vzoriek dreva v južnom Nórsku vysoké koncentrácie kadmia, olova a zinku (REIMANN A. I., 2008). Priemerné hodnoty vybraných ťažkých kovov v drevnom popole podľa Someshwar (1996) sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Priemerné hodnoty vybraných ťažkých kovov v popole

Koncentrácia	< 3 mg.kg^{-1}	< 25 mg.kg^{-1}	< 50 mg.kg^{-1}	<110 mg.kg^{-1}	>300 mg.kg^{-1}
Prvok	Se, Hg	Cd, Co	Mo, Ni, As, Cr	Pb, Cu, B	Zn, Mn

V drevnom popole sa nachádzajú PAU obyčajne iba s dvoma a troma kruhmi. Pri analýzách drevného popola pri spaľovaní dubového dreva v krbe sa v našom laboratóriu dokázala prítomnosť naftalénu, acenaftylénu, acenafténu, fluorénu, fenantrénu, antracénu, fluoranténu a pyrénu zo sledovaných PAU, v hodnotách niekoľko desiatok mikrogramov na kg popola. Ako kvalitatívne, tak aj kvantitatívne ukazovatele PAU v drevnom popole sa môžu meniť v závislosti od druhu spaľovaného dreva a od podmienok spaľovania dreva. Pri analýzách PAU v sadziach usadených na stene dymovej rúry tesne nad krbovou vložkou a v komínovej vložke sa však našlo celé spektrum analyzovaných PAU, vrátane PAU s štyrmi a piatimi kruhmi (benzo(a)pyrén, benzo(k)fluorantén, atď). Preto so sadzami z dymových rúr a z komínových vložiek by sa malo zaobchádzať zvlášť opatrne a dbať na to aby sa nedostali do pôdy.

MATERIÁL A METÓDY

Odber vzoriek za účelom stanovenia PAU a rizikových prvkov bol vykonaný podľa medzinárodných noriem. Vzorky odobraté pre sledovanie vplyvu hnojenia drevným popolom boli zo záhrad, kde sa pridával drevný popol do pôdy záhradkármi. Vzorky odobraté na sledovanie kontaminácie pôd emisiami boli odobraté na okrajoch a v zastavaných častiach obce Marianka, tak ako je to priložené na mapke. Na vyhodnotenie výsledkov PAU sa použila metóda GC/MS validovaná v projekte HORIZONTAL-Org a na vyhodnotenie rizikových prvkov metóda extrakcie v lúčavke kráľovskej pomocou mikrovlnného rozkladu vzorky a následné stanovenie prvkov AAS.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vplyv spaľovania dreva na životné prostredie pri vykurovaní domov a hnojenie drevným popolom v záhradách sa sledoval v obci Marianka. Táto obec leží ďaleko od vysoko frekvencovaných ciest, v samotnej obci je frekvencia dopravy nízka a väčšina obyvateľov obce používa na vykurovanie domov drevo, pretože obec nebola donedávna plynofikovaná. Treba poznamenať, že sa systematicky v drevnom popole ktorý sa záhradkármi pridával do pôdy, nesledovali koncentrácie PAU a ťažkých kovov. Naším cieľom bolo zistiť skutočný stav polutantov v pôdach, bez ohľadu na frekvenciu hnojenia a množstvá pridávaného drevného popola do pôdy v záhradách aj preto, že v praxi neexistujú návody alebo obmedzenia pri hnojení drevným popolom a záhradkári ho používajú ako hnojivo podľa vlastného uváženia v rôznych množstvách.

Pri sledovaní vplyvu hnojenia drevným popolom na koncentrácie PAU a ťažkých kovov v pôdach boli odobrané vzorky zo šiestich odberných miest. Prehľad miest odobratia vzoriek je možné sledovať na priloženej mapke Marianky (obrázok 1) a namerané výsledky sú zhrnuté v tabuľke 3. Ku každej vzorke pôdy do ktorej sa podľa vyjadrenia záhradkárov pridával drevný popol bola odobratá kontrolná vzorka z rovnakého pozemku, kde sa podľa vyjadrenia záhradkárov popol nepridával. Na mapke Marianky sú miesta odberu označené číslami 1 až 6.

Pri jednotlivých vzorkách bol stanovený pôdny druh. Odberné miesto č.1 malo pôdu hlinito-piesočnatú, pri č. 6 bola vzorka hlinito-piesočnatá a jej kontrolná vzorka bola piesočnatá. Všetky ostatné odobraté vzorky boli pôdy piesočnato-hlinité. Tieto charakteristiky pôdy sa zohľadnili pri vyhodnotení limitných hodnôt rizikových prvkov v pôdach, podľa zákona č. 220/2004 Z.z. Vzorky č.1–6 boli odobraté zo záhrad, kde sa hnojilo drevným popolom. Pri týchto odberných miestach sa sledovali množstvá PAU a ťažkých kovov v pôdach pre ich možnú kontamináciu pridávaným drevným popolom do pôdy. To má svoje opodstatnenie, pretože ako bolo spomenuté vyššie v Nórsku sa v drevnom popole z niektorých lokalít našli vyššie hodnoty ťažkých kovov v drevnom popole. PAU sa vyskytujú v popole obvyčajne iba s dvomi a tromi kruhmi. Avšak kontrola popola na prítomnosť nebezpečných vyšších PAU, ktoré môžu kontaminovať popol a bežne sa vyskytujú v sadiach, je u záhradkárov nemožná.

V tabuľke č. 3 sú zhrnuté výsledné hodnoty merania PAU a rizikových prvkov s ohľadom na charakteristiku pôd. Ako z tabuľky vyplýva, s výnimkou dvoch kontrolných vzoriek, všetky ostatné vzorky sú kontaminované vyššími hodnotami PAU, ako pripúšťa zákon č. 220/2004 Z.z., kde limitná hodnota PAU pre poľnohospodársku pôdu je $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Fakt, že aj kontrolné vzory majú nadlimitné množstvá PAU je možné vysvetliť nadmerným znečistením pôd emisiami zo spaľovania dreva, keďže doprava, ako ďalší možný zdroj kontaminácie v obci, je nízka. Ako z nameraných výsledkov vyplýva, vzorky hnojených pôd obsahovali obyčajne vyššie hodnoty PAU ako ich kontrolné vzorky. Rizikové prvky sú v pod limitných množstvách s výnimkou Zn a drevný popol neprispel k nadlimitným množstvám rizikových prvkov v pôdach, s výnimkou odberného miesta č. 4. Obidve vzorky odobrané na tomto mieste sú dobrým príkladom nekontrolovaného vysypávania drevného popola na pôdu alebo pridávania do pôdy. Tu sa zjavne spolu s popolom pridávali aj sadze, súdiac s vysokých hodnôt PAU vo vzorkách a ktoré obsahovali vysoké množstvá benzo(a)antracénu, chryzénu, benzo(b)fluoranténu, atď. Vysoké hodnoty ťažkých kovov svedčia o veľkých množstvách drevného popola, resp. sadzí pridávaných do pôdy ako jediného možného zdroja týchto prvkov, ako aj možnej vyššej kontaminácii spaľovaného dreva ťažkými kovmi. Z nameraných výsledkov vyplýva, že hnojenie pôd drevným popolom záhradkármi si vyžaduje zavedenie potrebnej legislatívy týkajúcej sa odporúčaných dávok drevného popola na plochu za rok, a limitné hodnoty pre rizikové látky v drevnom popole. Pri hnojení pôd drevným popolom,

Obrázok 1 Miesta odberu vzoriek



PAU predstavujú väčší problém kontaminácie pôdy ako rizikové prvky, tak ako to dokumentujú namerané výsledky v tabuľke 3.

V obci Marianka sa vedľa kontaminácie pôdy drevným popolom sledovala aj kontaminácia pôdy PAU, ktoré pochádzali hlavne z emisií zo spaľovania dreva, ktoré sa v obci používa na vyhrievanie domov. Odberné miesta sú označené na mape č. 7-14 a namerané hodnoty sú zhrnuté v tabuľke 4. K týmto odberným miestam je možné aj priradiť aj kontrolné vzorky z tabuľky 3 ako odberné miesta na vyhodnotenie nameraných hodnôt PAU. Kontaminácia pôd s PAU bola nameraná v hodnotách 0,35-3,41 mg.kg⁻¹ s priemernou hodnotou 1,53 mg.kg⁻¹. Porovnaním hodnôt v oboch tabuľkách s mapkou Marianky sú najnižšie koncentrácie PAU namerané na okrajoch obce, resp. v najmenej zastavaných častiach Marianky, ktoré sú viac vzdialené od zdrojov emisií. Naopak najvyššie hodnoty PAU sa dosiahli v najviac zastavaných častiach obce, kde je najviac zdrojov emisií.

Odberné miesto č.	pôda	PAU	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	vzorka	1,82	1,16	0,09	3,97	13,9	13,4	352,0	6,78	15,5	101,2
	kontrola	0,63	1,68	0,12	4,71	14,8	12,3	401,3	8,89	13,7	79,9
2	vzorka	3,82	3,20	0,16	7,04	31,2	43,5	742,1	16,29	24,2	157,0
	vzorka	4,14	3,69	0,11	6,9	28,1	33,4	659,7	15,11	25,8	105,8
	kontrola	3,41	5,15	0,34	6,71	31,5	45,0	632,2	17,0	23,7	112,9
3	vzorka	3,89	4,77	0,32	3,2	25,1	31,4	514,2	12,84	27,3	147,5
	kontrola	2,64	4,65	0,52	3,48	23,6	17,8	349,6	12,26	20,0	234,0
4*	vzorka	68,57	5,69	3,23	9,74	35,7	192,9	6822,6	24,17	73,4	566,0
	vzorka	21,19	4,67	3,05	15,76	24,1	102,0	21236,3	21,69	56,1	435,6
5*	vzorka	2,17	3,00	0,26	7,35	22,1	24,5	954,0	13,51	19,5	110,4
	kontrola	0,95	2,40	0,16	6,79	16,7	9,1	450,3	7,13	16,7	68,9
6	vzorka	2,00	1,57	0,17	5,21	13,8	11,5	400,8	7,09	11,2	44,9
	kontrola	2,29	2,91	0,09	7,43	21,4	17,3	397,6	11,04	18,3	104,0

* Odberné miesta 4 a 5 boli susediace dva pozemky a kontrola v mieste 5 je kontrolnou vzorkou aj pre miesto 4
 Polotučne označené výsledky predstavujú nadlimitné hodnoty pre poľnohospodársku pôdu

Odberné miesto č.	7	8	9	10	11	12	13	14
PAH	1,72	0,35	0,70	1,47	1,52	0,54	1,04	2,67

ZÁVER

Vzhľadom na stúpajúce ceny energií mnohé domácnosti využívajú viac drevo na vykurovanie domov ako doposiaľ, respektíve prechádzajú na vykurovanie domov s drevom z ekonomických dôvodov. Avšak spaľovanie dreva je zložitý chemický proces pri ktorom je vytvárané široké spektrum rôznych chemických látok, z ktorých mnohé majú nepriaznivý vplyv na zdravie ľudí a zvierat. Tieto látky vo forme emisií sú uvoľňované do ovzdušia a v závislosti od rozptylových podmienok dochádza neskôr k ich sedimentácii a kontaminácii pôd a vôd. Vzhľadom na to, že obec Marianka nebola donedávna plynofikovaná a hlavne sa na vykurovanie domov používalo drevo, tak kontaminácia pôd sledovanými PAU je pomerne vysoká a dosahuje hodnoty PAU pôd vedľa vysoko frekventovaných ciest, po ktorých prejde niekoľko tisíc áut denne a kde sú obyčajne dosiahnuté hodnoty PAU bežne 2-4 mg.kg⁻¹. Používanie drevného popola záhradkármi ako ekologického hnojiva je problematické hlavne pre možnú kontamináciu pôd s PAU a to skôr ako s rizikovými prvkami, ako to aj dokazujú výsledky meraní. Pre používanie drevného popola ako hnojiva však chýbajú návody, resp. adekvátne legislatíva a preto ho záhradkári používajú aj v nadmerných množstvách, čo však ekologické pestovanie poľnohospodárskych produktov robí problematickým.

LITERATÚRA

- BURNET, P.G., EDMISTEN, N.G., TIEGS, P.E., HOUCK, J.E., YODER, R.A. 1986. *Particulate, carbon monoxide and acid emission factors for residential wood burning stoves*. JAPCA 36, 1986, p.1012
- EUROPEAN COMMISSION 2008. *Residential wood burning – a major cause of harmful pollution*. DG ENV Special Issue 4, 2008 External review draft, March 2005; EPA/600/p – 03/002A : *The inventory of sources and environmental releases of dioxin like compounds in the Unites States*
- FINE, P.M., CASS, G.R., SIMONEIT, B.R.T. 2001. *Chemical characterization of fine particle emissions from from the fireplace combustion of woods grown in the northeastern Unites States*. Environ. Sci. Technol., Vol. 35, 2001, p. 2665 - 2675
- FINE, P.M., CASS, G.R., SIMONEIT, B.R.T. 2002. *Chemical characterization of fine particle emissions from from the fireplace combustion of woods grown in the southern Unites States*. Environ. Sci. Technol., Vol. 36, 2002, p. 1442 - 1451
- FINE, P.M., CASS, G.R., SIMONEIT, B.R.T. 2004. *Chemical characterization of fine particle emissions from from the fireplace combustion of woods grown in the midwestern Unites States*. Environ. Sci. Technol., Vol. 21, Number 3, 2004
- LACHOCKI, PRYOR, ET AL, 1992. *Persistent Free Radicals in Wood smoke*. Louisiana State University, Free Radical Biology and Medicine, Vol. 12, 1992
- LEWTAS, J. 1991. *Contribution of source emissions of the mutagenicity of ambient Urban air particles*. U.S. EPA, 1991, p. 91-131
- MCDONALD, J.D., ZIELINSKA, B., FUJITA, E.M., SAGEBIEL, J.C., CHOW, J.C., AND WATSON, J.G. 2000. *Fine particle and gaseous emissions rates from residential wood combustion*. Environ. Sci. Technol., Vol. 34, 2000, p. 2080 - 2091
- MENZIE, C.A. A I. 1992. *Exposure to carcinogenic PAHs in the environment*. Environ. Sci. Technol., Vol. 26, 1992, p. 1278-1284
- MINGLE, J. AND BOUBEL, R. 1968. *Proximate fuel analysis of some western wood and bark*. Wood Sci., Vol.1, 1968, p. 29 - 36
- MISRA, M., RAGLUND, K., BAKER, A. 1993. *Wood ash composition as a function of furnace temperature*. Biomass and Bioenergy, Vol. 4, 1993, No. 2, p. 103–116
- REIMANN, C., OTTESEN, R.T., ANDERSSON, M. A I. 2008. *Element levels in birch and spruce wood ashes – green energy? Science of the Total Environment*, 2008, No. 2-3, p. 19-197
- SOMESHWAR, A. 1996. *Wood and combination woodfired boiler ash charakterisation*. J. Environ. Qual. Vol. 25, 1996, p. 962-972

ÚRODOTVORNÁ REAKCIA HRUŠIEK PESTOVANÝCH V TVARE ŠTÍHLEHO VRETENA V PODMIENKACH KARBONÁTOVEJ ČERNOZEME

YIELD FORMING RESPONSE SHOWN BY SLIM SPINDLE PEAR TREES GROWN ON CALCAREOUS CHERNOZEM

Ľubomír HANISKO, Ján HRÍBIK

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

Abstract

Irrigation and fertigation belong to important factors in cultivation systems used in progressively managed orchards. Cultivation of trees trained in slim spindle is very economical and appropriate system. Some winter varieties of pear-trees (Bohemica, Lucasova) and Williamsova variety were planted in the western part of Podunajská nížina lowland and fruit assessments were carried out in 2004–2006 seasons. To evaluate the effect of irrigation one control, not irrigated treatment was added to the plot trial with three other treatments that have got different levels of fertilisation. The crop quality was assessed and both the quantity as well as the chemical analysis of pear leaves was evaluated in order to investigate how irrigation and fertigation or better said their synergic effect might influence yield aspects in pear production. At the same time also the soil water captured in lysimeters was chemically analysed.

Keywords: pear-tree, irrigation, fertigation, fertilisation, yields of pears

Abstrakt

Závlaha a hnojivá závlaha patria k dôležitým faktorom pri pestovateľských systémoch používaných v progresívne riadených ovocných sadoch. Pestovanie stromov v tvare štíhleho vretena je veľmi ekonomickým a výhodným spôsobom. Niektoré zimné odrody hrušiek (Bohemica, Lucasova) a letná odroda Williamsova boli vysadené v západnej časti Podunajskej nížiny a hodnotenie plodov bolo vykonané v rokoch 2004–2006. Pre hodnotenie vplyvu závlahy jeden kontrolný, nezavlažovaný variant bol zaradený v pokuse spolu s ostatnými tromi, ktoré mali rôzne hladiny hnojenia. Kvalita úrod bola hodnotená a spolu s kvantitou aj chemické analýzy listov hrušiek boli hodnotené, aby sa určilo ako závlaha a hnojivá závlaha či lepšie vyjadrené ich synergický, súčinnosťný efekt môžu ovplyvniť aspekty úrod pestovaných hrušiek. Zároveň bol analyzovaný pôdny roztok zbieraný v lyzimetoch.

Kľúčové slová: hruška, závlaha, hnojivá závlaha, hnojenie, úroda hrušiek

ÚVOD

Nové metódy v oblasti racionálnej intenzifikácie výroby ovocia, zamerané na hnojenie a výživu stromov spojením závlahy s hnojením, poskytujú rozsiahle možnosti regulácie a optimalizácie výživného a vlhového režimu počas vegetačného obdobia. Napriek poznatkom, ktoré boli už získané, je nutné rozpracovávať a lepšie charakterizovať podmienky, ktoré intenzifikujú výrobu a zvyšujú využiteľnosť vody i živín z hnojív pestovanými plodinami v jednotlivých pôdno-klimatických podmienkach, pri stálej potrebe viac chrániť životné prostredie a zdravotný stav produkcie a spotrebiteľa. V ovocinárstve je táto požiadavka zvlášť aktuálna pri väčšom zahutnení ovocných drevín a niektorí autori, napr. NIELSEN, ROBERTS (1996); PAOLI (1997) fertigáciu odporúčajú do súčasných zahutnených ovocných výsadiieb. Synergický, tzv. súčinnosťný efekt závlahy a hnojenia spočíva v priaznivom vzájomnom účinku hlavných agrotechnických opatrení na kvalitu a kvantitu úrod, pričom každý z týchto faktorov môže výrazne ovplyvniť výšku a kvalitu úrod iba vo vzájomnom vzťahu s druhým faktorom. Je to vzájomné ovplyvňovanie daných faktorov, pričom sa sleduje ich pozitívny účinok. Synergické pôsobenie opatrení sa môže chápať tak, že príjem živín sa realizuje z vodného prostredia. Pri primeranej zásobe porastov živinami sa znižuje spotreba vody na produkciu sušiny aj pri ovocných drevinách.

Nájsť optimálne vzťahy medzi závlahou a hnojením pri ich užšom špecifikovaní je významnou požiadavkou praxe predovšetkým z dôvodov zníženia nákladov na vstupy do výrobného procesu, ale i z dôvodov ochrany vodných zdrojov. Významné postavenie pri riešení takýchto problémov pri produkčnom pestovaní ovocia má dusík, a to nielen z hľadiska výšky úrody a jej kvality, ale aj z hľadiska vyzrievania dreva a zakladania úrody v budúcom roku.

Všeobecne platí, že závlahy sa viac uplatňujú pri deficite zrážok počas vegetačného obdobia, zvlášť v tzv. kritických fázach, kedy je rastlina výrazne citlivá na nedostatok vody. Pri hnojení je badateľný efekt najmä na pôdach s malou zásobou živín. Pri určitej úrovni hnojenia i závlahy sa môže uplatniť úroda zvyšujúci synergický efekt.

Ovocné dreviny potrebujú počas vegetačného obdobia 400–600 mm zrážok, primerane rozdelených podľa svojich rastových fáz. Rodiace stromy potrebujú najviac vody počas kvitnutia, tvorby a rastu plodov.

Uvádzajú sa rôzne techniky hnojenia a zavlažovania poľnohospodárskych kultúr, medzi ktorými sa v poslednom období úspešne presadzuje kvapková závlaha v kombinácii s hnojením, tzv. fertigácia. Jej prednosti sú v menšej spotrebe vody a vo využívaní vody ako nosného média pri transporte potrebných živín priamo do koreňovej zóny.

MATERIÁL A METÓDY

Výsadbú hrušiek sme uskutočnili v jeseni r. 2000 na výmere 0,25 ha s rozmermi 35 x 50 m, v lokalite Most pri Bratislave. Rady stromov boli vysadené v smere sever – juh, v spone 3,5 x 1,5 m. Vysadenými odrodami boli: Lucasova (zimná, dosadená v roku 2002), Bohemica (zimná), Williamsova (letná).

Na pozemku hrušky obyčajnej, ktorý je situovaný vedľa staršieho produkčného jablo-

ňového sadu (výsadba v roku 1991 na výmere 0,60 ha), boli pestované 2 odrody hrušiek na podpníku Dula anderská MA (Bohemica a Williamsova) a 1 odroda na hruške planej (Lucasova). Bezvirózny materiál bol dodaný firmou Plose Fructop s. s. r.o., Ostratice (Bohemica, Williamsova) a Plantex spol. s r.o., Veselé (Lucasova) a obchodne certifikovaný. Z každej odrody sme hodnotili 15 stromov v jednom variante. Hodnotené jedince boli vyberané podľa zdravotného stavu, celkovej kondície a vzhľadu. Príkmenný pás bol ošetrovaný herbicídmi. Chemická ochrana bola realizovaná postrekovačom s kapacitou nádrže 350 l. Robil sa zimný rez a doplnkový letný rez pre daný spôsob pestovania – štíhle vreteno. Asi mesiac po odkvitnutí ovocných stromov, v júni a pri silnej násade, sme preberali plody ručne. Mechanicky sa odstraňovali múčnatkou napadnuté letorasty, v priebehu vegetácie.

Pôdne pomery lokality

Pri hnojení dusíkom bol rešpektovaný obsah N v pôde a odber úrodou. Podľa rozborov pôdnych vzoriek sa obsah K v ornici pohyboval na úrovni dobrej zásoby. Obdobne P v ornici, ale v podornici bol veľmi nízky, čo nasvedčuje pomalému pohybu fosforu v pôde. Sad bol založený na nízinej, stredne ťažkej aluviálnej pôde, typu karbonátovej černoze. Pôda sa vyznačuje dobrými fyzikálnymi vlastnosťami. 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. Hladina podzemnej vody sa pohybuje v rozpätí 6 – 8 m, to znamená, že neovplyvňuje vlhkosť rhizosféry.

Dobrá štruktúra pôdy, najmä aktívny horizont, priaznivo vplyva na vodný a vzdušný režim, a aj na aktivitu mikroorganizmov. Obsah humusu v pôde je 2,50 % (podľa TJURIN), karbonátov 11 % (podľa JANKO), pH výmenné 7,5 až 7,6, obsah celkového dusíka 0,29 %, prístupného fosforu 50–60 mg.kg⁻¹ a draslíka 170–280 mg.kg⁻¹ (podľa MEHLICH III). Obsah ílovitých častíc v ornici vrstve pôdy je 35–45 %, redukovaná objemová hmotnosť pôdy 1,30–1,45 g.cm⁻³, celková pórovitosť 50–55 %, bod vädnutia 9–12 % a poľná vodná kapacita 32–36 % objemových.

Stanovenie obsahu živín a aplikácia hnojív

K stanoveniu obsahu živín prístupných v pôde sa použila metóda *Mehlich III*, ktorá umožňuje stanoviť aj jednotlivé mikroelementy. Pri hodnotení výsledkov sa postupovalo podľa kritérií pre ovocné sady. Určené dávky živín P a K v hnojivách boli aplikované v jeseni, dusík na jar a rozpustné formy hnojív spolu so závlahovou vodou cez vegetáciu podľa potreby (fertigácia). Dusíkaté hnojivo sme aplikovali celoplošne, draselné a fosforečné hnojivá do príkmenných pásov širokých 1 m.

Hnojenie rozpustnými formami hnojív (Potassium nitrate – Hydroponica, dusičnan draselný, s obsahom 13,7 % N v dusičnanej forme a 46,3 % K₂O; obsah K: 38,4 %) a tuhým hnojivom (močovina) sa robilo vo fenofázach vegetačného obdobia :

- počas 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).

Množstvo dodaného hnojiva KNO_3 bolo upravené s ohľadom na ekonomiku hnojenia a postupné dávkovanie živín podľa ich obsahu v pôde danej výsadby.

V pôdnom profile boli nainštalované ploché lyzimetre v potrebnej hĺbke na meranie priesakov živných roztokov a obsahu dusičnanov, taktiež zachyteného množstva závlahovej vody a k presnejšiemu stanoveniu veľkosti závlahovej dávky v podmienkach karbonátovej černo-zeme.

Ploché lyzimetre boli v roku 2001 navrhnuté Prof. Bízikom (BÍZIK A KOL., 2002) a inštalované v porastoch poľných plodín s možnosťou osadenia do neporušeného pôdneho profilu v hĺbke 0,6 m. Boli vyrobené z dosiek PVC s rozmermi 0,4 m x 0,4 m. Lyzimetrom zachytený presakujúci pôdny roztok sa odvádza do zbernej nádoby umiestnenej pod vonkajším okrajom lyzimetra, ktorá je chránená puzdrom a krytom z PVC. Po prekrytí odkrytej steny pôdneho profilu fóliou je prepojené dno zbernej nádoby polyetylénovou hadičkou vsunutou do hrubšej obalovej hadice, ktorá je vyvedená na povrch pôdy. Po opakovanom opatrnom zasypaní a utlačení montážnej manipulačnej šachty sa hadica nad povrchom pôdy umiestni v ochrannom puzdre. Zachytávaný roztok sa vyťahuje peristaltickou pumpou. Na základe meraní objemu zachyteného roztoku i jeho koncentrácie sa dá posúdiť a upraviť závlaha ako aj dávkovanie dusíka, najmä pri fertigácii (BÍZIK, ZÁPOTOČNÝ, 2002).

V pôdnom profile sa nainštalovali ploché lyzimetre v roku 2006, hodnotami zdokumentované v tabuľkách (Tab. 1).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnoty obsahu dusičnanov vzhľadom na stredné množstvá odobratého roztoku vo výsadbe hrušiek v roku 2006 neprekračovali stanovené normy, do 50 mg.l^{-1} , s výnimkou pri odrode Bohemica, variant s kombinovaným hnojením, dňa 3. 5. a 9. 6. 2006 a v nezavlažovanom variante pri odrode Bohemica dňa 10. 8. V druhej polovici júna a v júli došlo k poklesu pôdnej vlhkosti vo variantoch s kombinovaným hnojením pri odrodách Bohemica a Lucasova a vo fertigačných variantoch. S nástupom mimoriadne vlhkého mesiaca august 2006 došlo k nárastu obsahu pôdnej vlhkosti vo všetkých zavlažovaných variantoch, čo sa prejavilo aj pri hmotnosti plodov. Pri nezavlažovanom variante odrody Williamsova bola pôdna vlhkosť priaznivo ovplyvnená až výdatnými zrážkami v auguste. Podobná situácia s vyrovnanosťou hodnôt obsahu pôdnej vlhky bola v roku 2006 vo výsadbe hrušiek Williamsova s fertigáciou, čiže hnojivou závlahou, pričom najrovnomernejšie hodnoty obsahu pôdnej vody v % obj. sme pozorovali pri odrode Williamsova vo var. A (hnojivá závlaha s nižšou dávkou dusíka) v hĺbke 0,4 m (Tab. 1). Použitie obidvoch spôsobov merania potvrdzuje správnosť metodiky a spoľahlivosť merania snímačmi Virrib a taktiež neutrónovou sondou v trvalých hruškových výsadbách.

Tabuľka 1 Chemický rozbor lyzimetrickej vody vysávanej z lyzimetra v pokuse hrušiek (rok 2006)

Lyzimeter- odroda, variant	dátum odberu	množstvo roztoku v ml	obsah dusičnanov v mg.l ⁻¹	obsah dusitanov v mg.l ⁻¹	EK: mS/m	reakcia vody pH	závlahová dávka mm
Bohemica v.B	3.5.2006	250,00	14,00	1,16	63,00	7,16	
Bohemica v.B	9.6.2006	4	112	málo vzorky	neodmer.		
Bohemica v.B	10.7.2006	7	32,1	0,05	neodmer.		11,5
Bohemica v.B	10.8.2006	22	30,9	1,11	54,00		6,90
priemer			47,25				
Bohemica v.A	3.5.2006	235,00	25,80	0,5	85,00	7,03	
Bohemica v.A	10.7.2006	3	33,1	0,06	neodmer.		11,5
Bohemica v.A	10.8.2006	15	41,20	1,15	60,00		6,90
priemer			33,37				
Bohemica v.C	3.5.2006	255	63,3	0,35	132	7,31	
Bohemica v.C	9.6.2006	8	167	0,01	neodmer.		
Bohemica v.C	10.7.2006	8	0,98	0,54	neodmer.		11,5
Bohemica v.C	10.8.2006	24	35,8	0,89	99,00		6,90
priemer			67,93				
Bohemica v.K	3.5.2006	172	31,6	0,03	65	7,39	
Bohemica v.K	9.6.2006	45	15,7	0,09	23,00		
Bohemica v.K	10.7.2006	60	0,96	0,09	32		11,5
Bohemica v.K	10.8.2006	36	145		59,00		6,90
priemer			55,23				

Je potrebné mať na zreteli, že nebezpečenstvá dusičnanov a najmä z nich tvorených dusitanov zmobilizovali zodpovedných ľudí v mnohých krajinách, aj v medzinárodných spoločnostiach. EC už v roku 1980 určila maximálnu prípustnú koncentráciu dusičnanov v pitných vodách na 50 mg NO₃⁻.l⁻¹ (11,3 mg N-NO₃⁻.l⁻¹). EC limit pre dusitany vo vodách bol stanovený na 0,1 mg NO₂⁻.l⁻¹ (Council of the EC, 1980). Svetová zdravotnícka organizácia odporúča (WHO) dokonca dva limity: 50 mg NO₃⁻.l⁻¹ ako odporúčaný limit a 100 mg NO₃⁻.l⁻¹ ako maximálny prípustný limit (Bielek, 1998). Podľa zahraničných prameňov len 15–20 % dusičnanov znečisťujúcich vodné zdroje pochádza z pôdy a z poľnohospodárskej výroby. Ostatných 80–85 % má pôvod v priemysle a v komunálnych odpadoch. Podľa Bieleka (1998) výsledky meraní upozorňujú, že len 1–2 % z aplikovaných hnojív v priemere sa vymývajú do podzemných vôd. Je skutočnosťou, že spolu s hnojivovým dusíkom sa do vodných zdrojov vyplavujú aj zásoby pôdneho dusíka a tento proces je v podmienkach dusíkatého hnojenia akcelerovaný (Bielek, 1998).

Fertigačné hnojenie výsadby hrušiek, stanovených variantov : (1 riadok = 30 m)

V roku 2005 sme výsadbu hrušiek v tvare štíhleho vretena prihnojili rozpustným hnojivom

dusičnan draselný (dávky a použité množstvá hnojív sú uvedené v Tab.2), vhodným pre prihnojovanie v rodivom období ovocných kultúr.

Tabuľka 2 Hnojenie ovocného sadu tuhým hnojivom – LAV a fertigáciou (roky 2005–2006)

Hnojivo	III.05	15.V.05	10.VI.05	20.VII.05
	čisté živiny kg/ha	kg/riadok	kg/riadok	kg/riadok
LAV (27,5%)	N:41,3	1,32	0,66	0,66
KNO ₃ -variant A	P:40	1,75	0,89	0,89
KNO ₃ -variant B	P:60	0,66	0,33	0,33
KNO ₃ + močovina, var.C		0,17	0,32	0,32
močovina, variant K			0,66	0,66

Stanovené hnojivo Potassium nitrate – Hydroponica, má obsah 13,7 % N v dusičnanevej forme a 46,3 % K₂O, obsah K: 38,4 %.

V roku 2006 sme výsadbu hrušiek v objekte Výrobnoprevádzkového stacionáru v Moste pri Bratislave prihnojili rozpustným hnojivom dusičnan draselný, s ohľadom na vek ovocnej výsadby, v šiestom roku po vysadení. Použité množstvá hnojív v roku 2006 boli rovnaké ako v predchádzajúcom roku 2005.

Obsah živín v listoch hrušiek v roku 2006 bol hodnotený podľa autora BERGMANN (1988), (In: BLAŽEK, 1998). Obsah celkového dusíka bol pri odrode Bohemica v rozpätí od 1,77 (variant K) do 2,3 % (variant B), nízky až vyhovujúci. Obsah fosforu bol od 1228 (variant K) do 1469 mg.kg⁻¹ P (variant C), nízky. Obsah draslíka sme namerali v rozpätí hodnôt od 4502 (variant K) do 5509 mg.kg⁻¹ K (variant A), taktiež nízky. Obsah vápnika sme zistili v intervale od 29 300 (variant B) do 38 400 mg.kg⁻¹ Ca (variant K), veľmi vysoký (Tab. 3). Obsah základných živín v listoch odrody Bohemica bol nízky, teda druh hruška domáca bol v slabo alkalických pôdach karbonátového typu menej vnímavý na prísun živín.

Obsah prvkov v listoch odrody Lucasova odobratých na konci augusta poukázal na nízky obsah dusíka – od 1,68 (variant K) až do 2,14 % (variant C). Obsah fosforu bol v týchto listoch od 1294 (variant K) do 1683 mg.kg⁻¹ P (variant A), mierne pod vyhovujúcim rozpätím, od 1500 – 3000 mg.kg⁻¹ P. Obsah draslíka bol zistený od 7413 (variant B) do 9831 mg.kg⁻¹ K (variant C), pod vyhovujúcim rozpätím, ktoré je od 12 000 do 20 000 mg.kg⁻¹ K, podľa BERGMANN (1988), (In: BLAŽEK, 1998). Obsah vápnika bol od 20 800 (variant B) do 25 400 mg.kg⁻¹ Ca (variant C), veľmi vysoký (odporúčané a vyhovujúce rozpätie pre hrušky je 12 000 – 18 000 mg.kg⁻¹ Ca, podľa autora BERGMANN (1988), (In: BLAŽEK, 1998).

Obsah prvkov v listoch hrušky odrody Williamsova, letnej odrody, bol v prípade celkového dusíka od 1,67 (variant K) do 2,25 % (variant B), teda mierne pod vyhovujúcim rozpätím, od 2,2 – 2,8 %. Obsah fosforu bol od 1356 (variant A) do 1744 mg.kg⁻¹ P (variant C), nízky až vyhovujúci. Obsah draslíka bol zistený v rozpätí od 3595 (variant A) do 6783 mg.kg⁻¹ K (variant C) (Tab. 3), veľmi nízky; vyhovujúce rozpätie je od 12 000 – 20 000 mg.kg⁻¹ K. Obsah vápnika sme zistili

v intervale od 24 600 (variant A) do 28 500 mg.kg⁻¹ Ca (variant C), veľmi vysoký. Aj pri odrode Williamsova bol príjem základných živín nízky a letná odroda hrušky bola menej vnímavá na prísun živín z karbonátových pôd Podunajskej nížiny.

Tabuľka 3 Chemický rozbor listov hrušiek (odber 25.8.2006)

Vzorka	Ncelk.	P	K	Ca
Odroda - variant	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Williamsova-A	1,69	1356,00	3595,00	24600,00
Williamsova-B	2,25	1483,00	5393,00	28000,00
Williamsova-C	1,76	1744,00	6783,00	26900,00
Williamsova-K	1,67	1507,00	5848,00	28500,00
Lucasova - A	2,03	1683,00	8190,00	22400,00
Lucasova - B	2,12	1299,00	7413,00	20800,00
Lucasova -C	2,14	1465,00	9831,00	25400,00
Lucasova - K	1,68	1294,00	7648,00	21400,00
Bohemica -A	2,22	1299,00	5509,00	30000,00
Bohemica -B	2,30	1290,00	4989,00	29300,00
Bohemica - C	2,00	1469,00	5425,00	35400,00
Bohemica -K	1,77	1228,00	4502,00	38400,00

V rokoch 2005 a 2006 sa u hrušiek prejavil priaznivý vplyv fertigačie a kombinovaného hnojenia, s polovičnou dávkou živín formou hnojivej závlahy, na obsah prvkov v sušine listov. Zistilo sa to pri druhej listovej analýze a s vysokou pravdepodobnosťou išlo o priamy vplyv fertigačie v ročníku resp. počas vegetačného obdobia na vyrovnanie hladiny živín v listoch, v porovnaní s prvou analýzou na začiatku leta. Obsah základných živín v listoch odrody Bohemica bol nízky, teda druh hruška domáca bol na slabo alkalických pôdach karbonátového typu menej vnímavý na prísun živín. Pri odrode Williamsova bol príjem základných živín nízky, teda aj letná odroda hrušky bola menej vnímavá na prísun živín z karbonátových pôd.

Pri hodnotení zdravotného stavu porastu hrušiek za obdobie pozorovaní 2005–2007 možno zhrnúť, že závlaha a výživa veľmi výrazne neovplyvnili ich zdravotný stav.

V roku 2006 sme zaznamenali úrody hrušiek pri odrodách vysadených v roku 2000, pri odrodách Bohemica a Williamsova (odroda Lucasova vysadená v roku 2002 na podpníku hruška planá, v tejto hodnotenej sezóne prvýkrát poskytla úrody, s možnosťou ich kvalitatívneho aj kvantitatívneho zhodnotenia). Zimná odroda Bohemica mala najvyššie úrody vo variante s fertigačným hnojením, nižšou dávkou dusíka: 4,33 t.ha⁻¹ (o 17,3 % viac ako v nezavlažovanom kontrolnom variante s úrodou 3,69 t.ha⁻¹) a vo variante s fertigačným hnojením, vyššou dávkou dusíka:

4,20 t.ha⁻¹ a tretí v poradí bol variant s kombinovaným hnojením, C : 4,07 t.ha⁻¹).

Najvyššia priemerná hmotnosť plodov hrušky Bohemica bola vo variantoch s fertigačným hnojením a vo variante s kombinovaným hnojením: 0,14 kg. Len v nezavlažovanom variante bola priemerná hmotnosť plodu 0,13 kg (Tab. 4).

Letná odroda Williamsova zaznamenala najvyššie úrody vo variante s fertigáciou A a vo variante s kombinovaným hnojením: v poradí 6,92 a 6,61 t.ha⁻¹ (o 20,8 a o 15,4 % viac ako v nezavlažovanej kontrole s úrodou 5,73 t.ha⁻¹).

Najvyššia priemerná hmotnosť plodov hrušky Williamsova bola vo variante s fertigačným hnojením, nižšou dávkou dusíka A ako aj v nezavlažovanom variante: 0,20 kg.

Zimná a triploidná odroda Lucasova mala najvyššie úrody vo variante s fertigáciou a vyššou dávkou živín, B: 7,30 t.ha⁻¹ (o 37,7 % viac ako v nezavlažovanej kontrole), vo variante s kombinovaným hnojením C: 6,92 t.ha⁻¹ (o 30,6 % viac ako v nezavlažovanej kontrole), vo variante s fertigáciou a nižšou dávkou živín, A : 5,61 t.ha⁻¹ (o 5,8 % viac ako v nezavlažovanej kontrole), (Tab. 5). Výška úrody v nezavlažovanej kontrole K predstavovala 5,30 t.ha⁻¹. Najvyššia priemerná hmotnosť plodov hrušky Lucasova bola vo variante s kombinovaným hnojením: 0,19 kg a v nezavlažovanom variante bola priemerná hmotnosť plodu 0,18 kg. Za nimi zaostávali varianty s fertigáciou – A: 0,14 kg a B: 0,17 kg (Tab. 4).

Tabuľka 4 Kvantitatívne hodnotenie úrody hrušiek (rok 2006)

Odroda	Variant	plody			
		kg/strom	ks/strom	hmotnosť (kg)	t/ha
Bohemica	A	2,32	16,85	0,14	4,33
	B	2,25	16,64	0,14	4,20
	C	2,18	16,14	0,14	4,07
	K	1,98	15,41	0,13	3,69
Priemer		2,18	16,26	0,13	4,07
Williamsova	A	3,71	18,65	0,20	6,92
	B	3,41	19,07	0,18	6,36
	C	3,54	20,05	0,18	6,61
	K	3,07	15,45	0,20	5,73
Priemer		3,43	18,31	0,19	6,41
Lucasova	A	2,47	17,65	0,14	4,61
	B	3,91	23,07	0,17	7,30
	C	3,71	19,05	0,19	6,92
	K	2,84	15,45	0,18	5,30
Priemer		3,23	18,81	0,17	6,03

Pri hruškách sme zistili vysokú závislosť medzi bohatosťou kvitnutia v roku 2006 a násadou plodov 20.5. v tom istom roku ($r=0,71+$): to znamená, že čím je bohatosť kvitnutia vyššia, tým je bohatšia násada plodov 20.5. v tom istom roku. Štatisticky preukazný záporný vzťah ($r=-0,61+$) bol zistený medzi násadou plodov hrušiek hodnotenou 20.5. a oberaním plodov, to znamená, že čím je násada plodov 20.5. vyššia, tým viac sa oneskoruje dátum oberania.

Autori KLEIN A I. (1999) prednosti fertigácie vidia najmä v doplnkovej výžive a v dodávaní chýbajúcich živín priamo ku koreňom. Pri skúšaní rôznych kombinácií hnojenia stromov

hrušiek (odroda Spadona) v podmienkach Izraela sa úroda plodov zvýšila v priemere za tri roky najmä P-hnojením o 30 %. Autori SHACKEL A I. (1999) pri testovaní intenzity zavlažovania hrušiek na úrovni 100,85 a 65,0 % evapotranspirácie a rozdielnej výžive dusíkom v podmienkach Kalifornie zistili silnú redukciu v raste stromov a plodov pri zvyšovaní deficitu vody, avšak nezistili vzťah medzi intenzitou hnojenia dusíkom a úrodou a jej kvalitou. Zrejme vyšší obsah dusíka v pôde sa uplatnil viac ako dodaný dusík z hnojív. V súvislosti s niektorými fyziologickými reakciami hrušiek na závlahu autori TONG-DEZHONG A I. (1997) uvádzajú, že nezavlažované stromy prejavujú vyššiu suchovzdornosť v porovnaní so zavlažovanými. Vodný potenciál listov sa významne znížil a turgor sa zvýšil. Uzatvárajú, že nezavlažované stromy hrušiek majú väčšiu schopnosť udržať vodu ako zavlažované. Tieto, ako aj ďalšie výsledky poukazujú na potrebu pravidelnej regulácie vodného režimu v pôde pri intenzívnom pestovaní hrušiek. V súvislosti s úrodou hrušiek a ich kvalitou LEE-HAN-CHAN A I. (1998) zistili nasledovné optimálne koncentrácie živín v listoch orientálnej hrušky (odroda Niitaka) v %: 2,48 N; 0,138 P; 1,91 K; 1,43 Ca a 0,294 Mg. Hodnoty pre Fe, Mn a B uvádzajú v tomto poradí nasledovne: 96,7 ppm, 198 ppm a 35,1 ppm. V celkovom porovnaní s jablkami majú hrušky menšie použitie, čo je spôsobené predovšetkým malým obsahom kyselín a spravidla veľmi rýchlym priebehom záverečných fáz dozrievania. Napriek týmto závažným technologickým nedostatkom, môžu byť vybrané odrody výbornou surovinou pre kompóty, kandizovanie, ale aj pre sušenie a zmrazovanie. Majú tiež významné dietetické postavenie vo výžive ľudí. Podľa autorov HANISKO, HRIČOVSKÝ, BABJAK (2005) v pokuse z rokov 2002 – 2004 sa medzi fertigačnými variantami (var. A, B) a počtom plodov vo výbere vypočítal štatisticky preukazný záporný vzťah ($r = -0,39++$). Fertigácia zvyšovala počet výberových plodov. Medzi týmito variantmi a hmotnosťou výberu bol štatisticky preukazný záporný vzťah ($r = -0,29+$). Zároveň fertigácia zvyšovala hmotnosť výberových plodov, čo svedčí o jej vplyve viac na výšku úrod ako na kvalitu plodov a ich skladovateľnosť.

ZÁVER

1. Pri jednotlivých odrodách hrušiek pestovaných v tvare štíhleho vretena na podpníku MA – dula angerská sa prejavil priaznivý vplyv fertigácie na zvyšovanie úrody plodov od 25 do 35 % v porovnaní s nezavlažovanou kontrolou.
2. Stanovené normatívy pre hnojenie dusíkom (60 a 80 kg N.ha⁻¹) je účelné rozdeliť na tri aplikačné termíny: 35 % na začiatku pučania, najneskôr v období kvitnutia, 40 % po odkvitnutí a 25 % po júnovom opade plodov. Hnojivá závlaha v produkčných hruškových výsadbách by mala byť dodaná v množstve do 60 kg N.ha⁻¹ a rok.
3. Odporúčame fertigačnú aplikáciu rozpustného hnojiva Potassium nitrate v období, kedy sa rozhoduje o tvorbe úrody, a v období intenzívneho rastu plodov (mesiace jún–júl–august).
4. Z hľadiska ochrany životného prostredia a lepšieho využitia závlahovej vody a dusíka je vhodné pozorovanie priesakov pôdneho roztoku pod kvapkovačom pomocou plochých lyzimetrov, umiestnených v hĺbke 0,6 m pôdneho profilu.

5. Podľa hodnotenia obsahu fosforu, najmä vo vrstve pôdy 0,3–0,6 m, vyplýva jeho nízky až dobrý obsah, čo preferuje prednosti použitia fertigácie – s pravidelným prísunom P priamo do koreňovej zóny hrušiek a dodávaním v nízkych množstvách vzhľadom na vysoký obsah vápnika v karbonátovej černozemnej pôde.

LITERATÚRA

- BIELEK, P. 1998. *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. Bratislava: VÚPOP, 1998, 256 s. ISBN 80-85361-44-2.
- BLAŽEK, J. A KOL. 1998. *Ovocnictví*. Český záhradkársky svaz. Praha: KVĚT, 1998, s. 211-218. ISBN 80-85362-33-3.
- BÍZIK, J. – ZÁPOTOČNÝ, V. – MALÁ, Š. – ĎURIGA, K. – MUCHA, V. 2002. *Racionálne využívanie závlahovej vody a zdrojov živín v intenzívnom poľnohospodárstve: Záverečná výskumná správa – Subprojekt 05*. Bratislava: SVP š.p., OZ Hydromeliorácie, 2002, 47 s.
- BÍZIK, J. – ZÁPOTOČNÝ, V. 2002. *Význam diagnostiky obsahu dusíka v pôde pre výživu rastlín*. Naše pole, roč. 6, 2002, č. 2, s. 8-9
- Council of the European Communities, 1980. *Relating to the quality of water intended for human consumption*. Council directive of 15 July 1980, 80/778/EEC. Official Journal of the European Communities No. L 229/11 – 29.
- HANISKO, Ľ. – HRÍČOVSKÝ, I. – BABJAK, M. 2005. *Závlaha a hnojenie v produkčných sadoch jabloní z aspektu ochrany životného prostredia*. Acta horticulturae et regionecturae, roč. 8, 2005, mimoriadne číslo 2005, s. 17–21 ISSN 1335-2563
- HAN CHAN, L. – JEAMKUK, K. – MONGSUP, K. – LEE, H.C. – KIM, J.K. – KIM, M.S. 1998. *Studies on the nutritional diagnosis of Oriental pear (Pyrus pyrifolia var. culta nakai) odroda „Naitaka“ trees*. RDA-Journal of Agro Environment Science, Vol. 40, 1998, No. 2, p. 94-99
- KLEIN, I. – MEIMON, A. – SKEDI, D. 1999. *Drip nitrogen, phosphorus, and potassium fertigation of „Spadona“ pear*. Journal of Plant Nutrition, Vol. 22, 1999, No. 3, p. 489-499
- NIELSEN, D. – ROBERTS, T.L. 1996. *Potassium fertigation of high density apple orchards*. Better Crops with Plant Food, Vol. 80, 1996, No. 4, p. 12-13
- PAOLI, N. 1997. *What does fertigation have to offer?* Obstbau-Weinbau, Vol.34, 1997, No. 1, p. 10-13
- SHACKEL, K. – RAMOS, D. – SCHWANKL, L. – MITCHAM, E. – WEINBAUM, S. – SNYDER, R. – BIASI, W. – MCGOURTY, G. 1999. *Effect of water and nitrogen on pear size and quality*. Good-Fruit-Grower, Vol. 50, 1999, No.14, p. 34-37
- TONG, D. – GAO, X. – YANG, J. – ZHANG, Y. – TONG, Z. – TONG, D.Z. – GAO, X.P. – YANG, J.H. – ZHANG, Y.Q. – TONG, Z.P. 1997. *Physiological responses to natural water deficiency in pear*. Acta Horticulturae Sinica, Vol. 24, 1997, No. 4, p. 313-318

TVORBA NIEKTORÝCH DEGRADAČNÝCH FENOMÉNOV KONTAMINÁCIE PÔD V OBLASTI ŽIARSKEJ KOTLINY

CREATION OF SOME PHENOMENA OF SOIL DEGRADATION UNDER CONTAMINATION IN ŽIARSKA KOTLINA (DEPRESSION)

Jozef KOBZA

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

Abstract

Actual state of soil contamination based on hygienic survey in more details on Žiarska kotlina (depression) is described in this contribution. The basic risk trace elements (Cd, Pb, Cu, Zn, As, Cr, Ni, Hg) as well as organic contaminants (PAHs, PCB) have been evaluated in submitted work. Risk trace elements have been extracted with aqua regia. Bioavailable forms of risk trace elements have been extracted with NH_4NO_3 . Organic contaminants were determined by using capillary gas chromatography method. In addition, the basic parameters concerning soil salinization (pH, exchangeable cations, total content of salts, ECe, SAR, ESP), as the result of alkalic waste deposit influence of Aluminium factory on alluvial soils, were also determined.

It was found out that opposite improving emission situation on described region, unfavourable state of contamination of soils exists also at present (it was actually calculated 2676 ha of contaminated soils where 90 ha of alluvial soils are affected also by secondary salinization process).

Keywords: soil contamination, Žiarska kotlina (depression), soil salinization, soil degradation

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá aktuálnym stavom kontaminácie pôd v regióne Žiarskej kotliny na základe detailného hygienického prieskumu. V príspevku sú hodnotené základné rizikové prvky (Cd, Pb, Cu, Zn, As, Cr, Ni, Hg), ako aj organické kontaminanty (PAU, PCB). Súčasne bol hodnotený vplyv alkalických odpadov na sekundárne zasolenie časti alúvia rieky Hron. Rizikové prvky boli analyzované v extrakte lúčavky kráľovskej, bioprístupné formy v extrakte NH_4NO_3 . Organické kontaminanty boli analyzované metódou kapilárnej plynovej chromatografie. Súčasne v blízkosti alkalických červenohnedých kalov boli na alúviu Hrona analyzované a hodnotené základné parametre zasolovania pôd (pH, výmenné katióny, celkový obsah solí, ECe, SAR, ESP).

Bolo zistené, že i napriek zlepšujúcej sa emisnej situácie v danom regióne, v pôdach sa nepriaznivý stav kontaminácie prejavuje stále aj v súčasnosti (2676 ha kontaminovaných pôd, z čoho 90 ha je navyše sekundárne zasolených).

Kľúčové slová: kontaminácia pôd, Žiarska kotlina, salinizácia pôd, degradácia pôd

ÚVOD

V zmysle pripravovanej Európskej smernice pre ochranu pôdy jednou z priorít bude postupné vyčleňovanie zatažených území v jednotlivých členských krajinách EÚ. K takýmto územiám je u nás zaradovaný aj región Žiarskej kotliny. Toto územie je často spomínané a hodnotené najmä v súvislosti s kontamináciou pôd – najmä fluórom, o ktorom sme už detailnejšie pojednávali v predchádzajúcom čísle našich Vedeckých prác 29 (KOBZA, 2007). Samozrejme k nepriaznivej situácii okolitého prostredia miestnej hlinikárne, a teda aj pôd, na ktoré sa v tomto príspevku zameriavame, sa podpisujú aj ďalšie priemyselné aktivity aj zo vzdialenejších prevádzok, teplární, poľnohospodárskej činnosti a pod. Nezanedbateľný v danej oblasti je aj vplyv tzv. geochemických anomálií okolitých pohorí (ich výskyt je najmä v Štiavnických vrchoch častý), ale aj vzdialenejších pohorí, odkiaľ sa môžu rizikové prvky transportovať vodnými recipientami s priamym dopadom najmä na ich alúviá.

Pôda má špecifické postavenie v životnom prostredí najmä tým, že má schopnosť väčšej, alebo menšej kumulácie nežiadúcich látok, pričom sa tu výrazne odráža aj vplyv kultivácie. V tomto príspevku sme sa zamerali na plošnú distribúciu rizikových látok s ich priamym dopadom na hygienický stav pôd popisovaného územia Žiarskej kotliny.

MATERIÁL A METÓDY

V roku 2006 bol uskutočnený detailný hygienický prieskum pôd senzitívneho územia Žiar nad Hronom. Pri výbere lokalít bol zohľadnený ekologický princíp (zahrňuje prevládajúce pôdne predstavitelie, smer prevládajúcich vetrov, expozícia k svetovým stranám, erodované i akumulácie časti reliéfu). Výsledkom takéhoto princípu bol výber 26 lokalít, pričom pôdne vzorky boli odobrané z ornice (0-10 cm) a z podornice (35–45 cm). Rizikové prvky (Cd, Pb, Cu, Zn, As, Cr, Co, Hg) boli stanovené v extrakte lúčavky kráľovskej. Biopristupné formy rizikových prvkov boli analyzované v extrakte dusičnanu amonného. Organické kontaminanty (PAU, PCB) boli stanovené metódou kapilárnej plynovej chromatografie. Vplyv alkalických kalov na okolité alúvium Hrona bol zisťovaný nasledovnými parametrami sekundárneho zasoľovania pôd : pH – potenciometricky, výmenné katióny - v extrakte octanu amonného (Fiala a kol., 1999), odparok – gravimetricky, elektrická vodivosť (ECe) – konduktometricky. Hodnoty SAR (sodíkový adsorpčný pomer) a ESP (percento výmenného sodíka) boli vypočítané podľa Vallu a i. (1983).

Dosiahnuté údaje boli štatisticky vyhodnotené, priestorové interpretácie boli vykonané v prostredí GIS.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Jednotlivé kontaminanty boli v poľnohospodárskych pôdach regiónu Žiarskej kotliny stanovené v zmysle platného zákona č. 220/2004 Z.z. (príloha 2) o hygienických limitoch (MP SR, 2004).

1. Anorganické kontaminanty

V tejto časti hodnotíme základné rizikové prvky (Cd, Pb, Cu, Zn, As, Cr, Ni a Hg) v poľnohospodárskych pôdach Žiarskej kotliny (Tab. 1).

Tabuľka 1 Základné štatistické ukazovatele rizikových prvkov v regióne Žiarskej kotliny (v mg.kg⁻¹)

Hĺbka v cm	Cd			Pb			Cu			Zn		
	Xmin.	Xmax.	X	Xmin.	Xmax	X	Xmin.	Xmax.	X	Xmin.	Xmax.	X
0-10	0,07	4,25	0,44	14,67	246,68	50,14	9,29	211,68	35,52	26,86	618,62	106,15
30-40	0,02	3,48	0,39	14,11	252,39	49,16	7,78	195,48	37,45	26,59	552,23	103,11
Hĺbka v cm	As			Cr			Ni			Hg		
	Xmin.	Xmax.	X	Xmin.	Xmax	X	Xmin.	Xmax.	X	Xmin.	Xmax.	X
0-10	2,64	55,89	18,83	10,45	57,44	35,28	1,25	23,13	12,74	0,043	1,008	0,137
30-40	2,61	57,18	19,64	9,83	56,60	34,98	1,06	23,89	13,54	-	-	-

Kadmium (Cd)

Obsah kadmia je v poľnohospodárskych pôdach pomerne variabilný (Tab. 1). Výmera nadlimitne kontaminovaných pôd kadmium činí 728,7 ha (KOBZA A I., 2008). Tieto plochy sú prevažne lokalizované na nive Hrona v bezprostrednej blízkosti prevádzky na výrobu hliníka. Je tu však pravdepodobne aj prísun Cd zo vzdialenejších oblastí (prostredníctvom denudačnej činnosti Hrona a jeho prítokov, pretože menšiu časť nadlimitných hodnôt Cd nachádzame aj povyše hlinikárne. Menšia plocha nadlimitne kontaminovaných pôd kadmium v nive Hrona pri Bzenici môže byť ovplyvnená aj Vyhnianskym potokom, ktorý prináša zvýšený obsah Cd z oblastí Štiavnických vrchov s častým výskytom geochemických anomálií.

Zistené hodnoty bioprístupného kadmia (v extrakte NH₄NO₃) sa pohybujú v rozpätí 0,318–0,403 mg.kg⁻¹, priemerne 0,372 mg.kg⁻¹. Tieto hodnoty už výrazne presahujú kritickú hodnotu pre Cd (0,1 mg.kg⁻¹) vo vzťahu pôda – rastlina. V podornici boli zistené hodnoty bioprístupného Cd v rozpätí 0,094–0,430 mg.kg⁻¹.

Olovo (Pb)

Celkový obsah olova v poľnohospodárskych pôdach hodnoteného územia je taktiež značne variabilný, a to v ornici aj v podornici. Najvyššie hodnoty Pb boli zistené podobne ako pri Cd v blízkosti hlinikárne na nive Hrona a v okolí Bzenice. Hodnoty bioprístupnej formy Pb (v extrakte NH₄NO₃) boli vo všetkých nadlimitných lokalitách (v extrakte lúčavky kráľovskej) nižšie ako 0,05 mg.kg⁻¹, čo znamená, že podľa platných hygienických limitov nebola prekročená kritická hodnota (0,1 mg.kg⁻¹) vo vzťahu pôda-rastlina. Len na 1 lokalite na alúviu Hrona pri Bzenici nameraná hodnota bioprístupného Pb prekračovala uvedenú kritickú hodnotu (0,119 mg.kg⁻¹).

Meď (Cu)

Podobne ako pri predchádzajúcich prvkoch, aj pri Cu zisťujeme jeho variabilitu v poľnohospodárskych pôdach. Priemerné obsahy Cu v ornici aj v podornici sú podlimitné ($< 60 \text{ mg.kg}^{-1}$), prevažujú zrnitostne stredne ťažké pôdy. Výmera kontaminovaných pôd meďou predstavuje 383,4 ha (KOBZA A I., 2008).

Hodnoty bioprístupnej Cu sa pohybujú v rozpätí $0,22\text{--}0,27 \text{ mg.kg}^{-1}$, čo sú hodnoty pod kritickou hodnotou ($1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$). Jedine na 1 lokalite na alúviu Hrona pri Bzenici nameraná hodnota bioprístupnej Cu prekračovala uvedenú kritickú hodnotu ($1,54 \text{ mg.kg}^{-1}$), aj to len v podornici, kde sa môže uplatňovať vplyv hladiny podzemnej vody.

Zinok (Zn)

Zinok je chalkofilný prvok, ktorý sa koncentruje v jednoduchých sulfidoch (ZnS – sfalerit). Zn je mobilný a pre rastliny prístupný najmä v ľahkých kyslých pôdach (ČURLÍK, ŠEFCÍK, 1999). Táto pohyblivosť sa vysvetľuje dobrou migračnou schopnosťou Zn v podmienkach kyslého vylúhovania, preto aj niektoré pôdy, ktoré majú kyslý charakter, sa vyznačujú znížením obsahu Zn v povrchových horizontoch (napr. kyslé kambizeme). Priemerné obsahy Zn v pôdach podľa údajov z literatúry kolíšu v rozpätí do 125 mg.kg^{-1} (KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1992; WHITE A I., 1997). Stredný obsah pre všetky pôdy sveta je 64 mg.kg^{-1} (KOBZA A I., 2008). Najvyššie priemerné hodnoty sa uvádzajú pre ťažšie aluviálne a najmenšie naopak pre ľahšie piesčité pôdy (ČURLÍK, ŠEFCÍK, 1999).

Keďže rozsah kontaminácie pôd zinkom je podobný ako pri Cd, Pb a Cu, pravdepodobne aj vplyv znečistenia v danej oblasti bude podobný. Obsah bioprístupného Zn sa v najviac kontaminovaných pôdach pohybuje v rozpätí $0,15\text{--}2,11 \text{ mg.kg}^{-1}$, čo už v alúviu Hrona pri Bzenici prekračuje kritickú hodnotu ($2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$). Na ostatných kontaminovaných pôdach bol obsah bioprístupného Zn pod kritickou hodnotou.

Arzén (As)

Kontaminácia pôd arzénom je často spojená so spaľovaním fosílnych palív, s metalúrgiou farebných kovov a s používaním pesticídov. Jeho výskyt je často viazaný na oblasti s výskytom geochemických anomálií, na ktoré sú bohaté aj Štiavnické vrchy (PETRO, 1991).

Na rozdiel od ostatných prvkov, nadlimitné koncentrácie As sme zistili nielen v alúviu Hrona, ale aj na vyšších terasách, čo môže dokumentovať aj prísun As zo vzdialenejších oblastí (pravdepodobne aj z oblasti hornej Nitry). Výmera nadlimitne kontaminovaných pôd arzénom je 2096,5 ha (KOBZA A I., 2008).

Obsah bioprístupného As v poľnohospodárskych pôdach sa pohybuje v rozpätí $0,005\text{--}0,229 \text{ mg.kg}^{-1}$, čo sú však hodnoty pod jeho stanovenou kritickou hodnotou ($0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Chróm (Cr)

Toxicitu chrómu je potrebné posudzovať z hľadiska rozpustnosti zlúčenín Cr, ktorá je v pôdach extrémne nízka ($0,006\text{--}0,28\%$ z celkového obsahu) (BOLT, BRUGGENWERT, 1978). O jeho

nízkej mobilite svedčí i väčšinou nízka bioakumulácia. Uvoľniteľnosť chrómu z pôd je celkove veľmi nízka a obsahy Cr zistené vo výluchoch pôd sú taktiež prevažne nízke.

Na základe nami dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že poľnohospodárske pôdy hodnoteného územia Žiarkej kotliny nie sú kontaminované chrómom. Keďže všetky namerané hodnoty celkového obsahu Cr boli podlimitné, v zmysle zákona 220/2004 Z.z. (MP SR, 2004) neboli zisťované biopristupné formy chrómu na danom území.

Nikel (Ni)

Podobne ako pri Cr, aj obsah Ni je najvyšší v ultrabázických horninách. V procese zvetrávania sa Ni uvoľňuje a môže migrovať vo vodách i na veľké vzdialenosti. Je emitovaný obvykle v okolí niektorých hút a v okolí elektrární, spaľujúcich uhlie a mazut.

Nami zistené priemerné hodnoty Ni v ornici aj v podornici sú výrazne podlimitné, pričom aj maximálne hodnoty Ni sú podlimitné. Možno teda konštatovať, že poľnohospodárske pôdy hodnoteného územia nie sú kontaminované nikelom.

Ortuť (Hg)

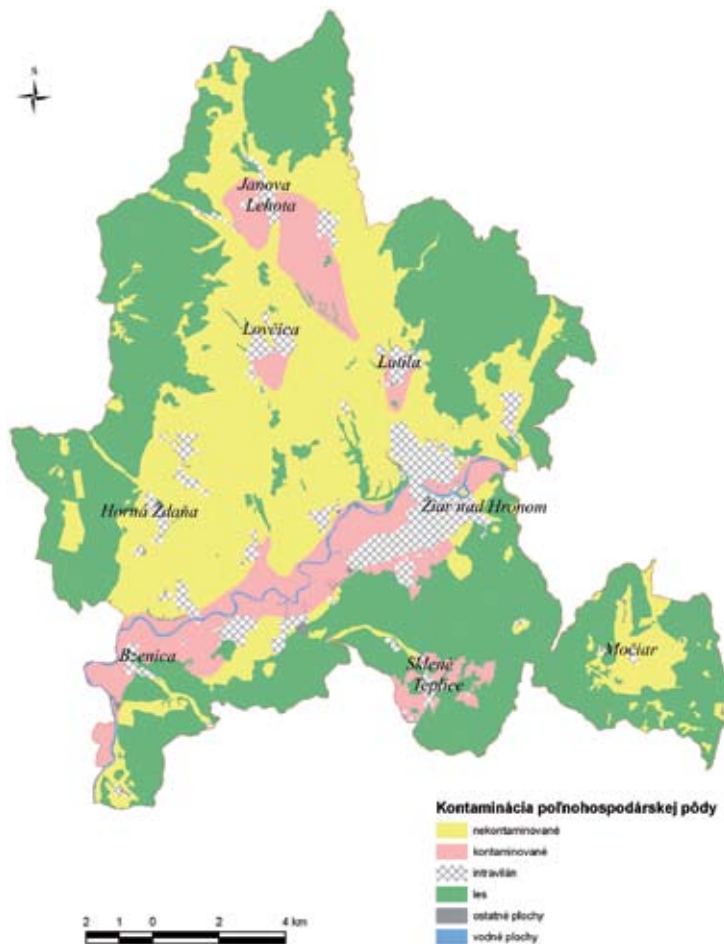
Špecifická črta ortute je jej prchavosť, takže jej koncentrácie sú často variabilné i na malých územiach. Totiž predovšetkým vplyvom redukčných procesov najmä mikrobiálnou činnosťou môže dôjsť k uvoľňovaniu kovovej ortute a táto môže byť aj v plynnom skupenstve – až 30 % z celkového obsahu ortute v pôde (BENEŠ, PABIÁNOVÁ, 1987).

Nadlimitné hodnoty Hg boli zistené len v alúviu Hrona pri sútoku Vyhnianskeho potoka pri Bzenici (1 mg.kg^{-1}) a pri Lehôtke pod Brehmi ($0,62 \text{ mg.kg}^{-1}$) o celkovej výmere $128,7 \text{ ha}$ (KOBZA A I., 2008). V tomto prípade sa pravdepodobne nejedná o vplyv hlinikárne, nadlimitné obsahy Hg sú ovplyvnené pravdepodobne viac charakterom pôdno-sedimentárneho materiálu a zvýšenou akumuláciou na pôdny humus v alúviu Hrona.

V nasledovnej mape 1 je znázornený rozsah kontaminácie poľnohospodárskych pôd hodnoteného územia uvedenými rizikovými prvkami.

Bolo zistené, že 2676 ha poľnohospodárskych pôd je kontaminovaných Cd, Pb, Cu, Zn, As a Hg, najviac v alúviu rieky Hrona, kde sa okrem lokálneho vplyvu hlinikárne môže uplatňovať aj znos pôdno-sedimentárneho materiálu zo vzdialenejších oblastí vplyvom denudačnej činnosti rieky Hron.

Mapa 1 Kontaminácia poľnohospodárskych pôd na území Žiarskej kotliny (J. KOBZA, B. PÁLKA)



2. Organické kontaminanty

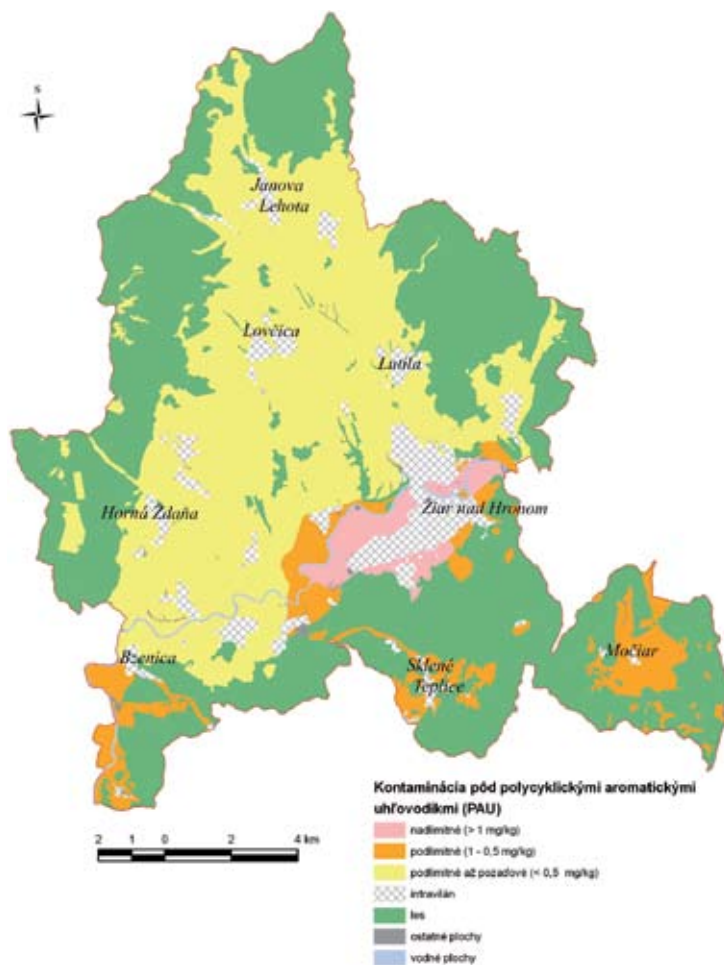
Z organických kontaminantov boli sledované polycyklické aromatické uhľovodíky (PAU) a polychlórované bifenyly (PCB).

Polycyklické aromatické uhľovodíky (PAU)

Namerané hodnoty PAU v hodnotenom území sú značne variabilné (Tab. 2). Priemerná hodnota PAU je nadlimitná, ktorá je ovplyvnená vysokými hodnotami v blízkosti priemyselnej zóny Žiarskej kotliny (Mapa 2).

V tejto najviac zaťaženej zóne sa hodnoty PAU pohybujú v rozpätí 1,30 – 7,58 mg.kg⁻¹, čo sú už hodnoty výrazne nadlimitné. V ostatných častiach hodnoteného územia hodnoty PAU sa pohybujú prevažne v rozpätí 0,41 – 0,82 mg.kg⁻¹. I keď tieto hodnoty v zmysle platného zá-

Mapa 2 Kontaminácia poľnohospodárskych pôd PAU (J.KOBZA, B.PÁLKA)



kona 220/2004 Z.z. (MP SR, 2004) nie sú nadlimitné, v porovnaní s celoslovenským priemerom poľnohospodárskych pôd ide predsa len o zvýšené hodnoty (KOBZA, 1996). Základné štatistické charakteristiky obsahu PAU v poľnohospodárskych pôdach hodnoteného územia sú uvedené v Tab. 2.

Polychlórované bifenyly (PCB)

PCB patria medzi najzávažnejšie perzistentné organické kontaminanty súčasnosti. Vyznačujú sa špecifickými vlastnosťami, ako sú hydrofóbnosť, nízka prchavosť, odolnosť voči oxidácii a ďalšími vlastnosťami, ktoré spôsobujú, že tieto kontaminanty sa dostávajú do kolobehu výmeny látok v prírode, akumulujú sa v jej hydrofóbných časticiach a vykazujú v nej toxické vplyvy (HALUŠKA A I., 1994). V tabuľke 2 sú uvedené základné štatistické charakteristiky PCB.

Tabuľka 2 Základné štatistické ukazovatele organických kontaminantov v regióne Žiarskej kotliny (v hĺbke 0–10 cm v mg.kg⁻¹)

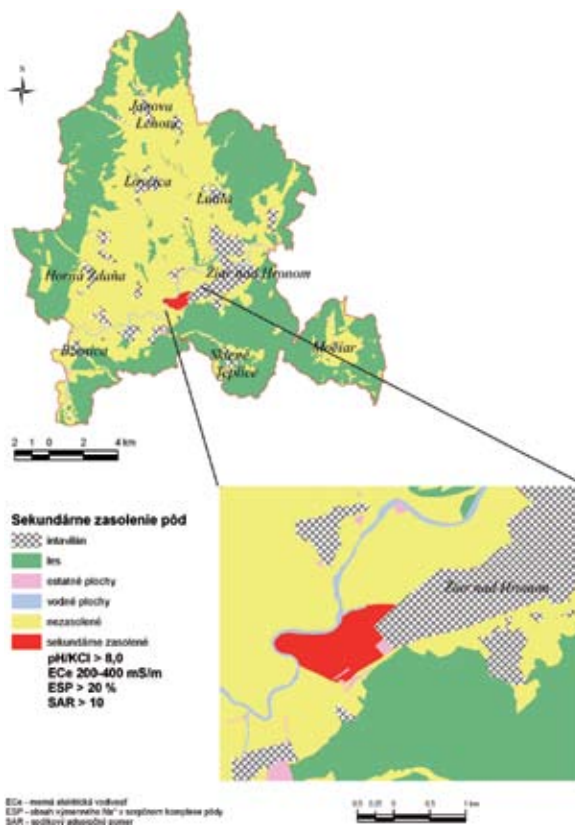
PAU			PCB		
Xmin.	Xmax.	X	Xmin.	Xmax.	X
0,41	7,58	1,34	0,0011	0,0040	0,0024

Namerané hodnoty PCB boli nízke. Možno teda konštatovať, že poľnohospodárske pôdy hodnoteného územia nie sú kontaminované PCB.

3. SEKUNDÁRNY ZASOĽOVACÍ PROCES

Sekundárne zasolené alkalické pôdy v danom území vznikli za relatívne krátku dobu (35-40 rokov). Semihumídna klimatická oblasť, v ktorej sa vyskytujú, je pre vznik sekundárne zasolených alkalických pôd neobvyklá, ale nie je ojedinelým prípadom. Podobné pôdy sú napríklad popisované aj zo stredného Poľska (Inowroclaw), kde vznikli vplyvom tekutých imisí z priemyslu na výrobu sódy (CIESLA, 1981). Aktuálny stav sekundárneho zasolenia pôd v oblasti Žiarskej kotliny je znázornený na mape 3.

Mapa 3 Aktuálny stav sekundárneho zasolenia pôd (J.KOBZA, B.PÁLKA)



Výmera sekundárne zasolených alkalických pôd na alúviu Hrona predstavuje 90 ha, čo je o 10 ha viac, ako pôvodne uvádzal Linkeš (1986). To znamená, že zasolovací proces tu neustále prebieha, ktorý je spôsobený silne alkalickými tekutými odpadmi z porušených nádrží cez starý drenážny systém do okolitých pôd. Svedčia o tom aj vysoké hodnoty základných ukazovateľov zasolovania pôd ($\text{pH/KCl} > 8,0$, $\text{ECe } 200\text{--}400 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, $\text{ESP} > 20 \%$, $\text{SAR} > 10$). Veľmi nepriaznivo pôsobí najmä na fyzikálne vlastnosti pôdy vysoká hodnota obsahu sodíka v sorpčnom komplexe pôdy (ESP) znižovaním priepustnosti pôdy pre vodu, na peptizáciu pôdnych agregátov sodíkom. Pôda má veľmi málo rastlinám prístupnej vody, za sucha tvrdne, za mokra sa zabahňuje, a tým je veľmi ťažko obrábatelná.

Na obrázku 1 je aktuálny pohľad na kontaminované a sekundárne zasolené pôdy s ukázkou degradovaného profilu fluvizeme glejovej sekundárne zasolenej.

Obrázok 1 Silne kontaminované a zasolené depresie alúvia Hrona v blízkosti priemyselných depónií



Foto: J. Kobza

ZÁVER

Na základe nami dosiahnutých výsledkov a najmä z pohľadu kontaminácie pôd je hodnotené územie Žiarskej kotliny oprávnené zaradené medzi najviac zaťažené územia SR. I napriek tomu, že emisná situácia je na danom území už vyhovujúca, v pôdach sa nepriaznivý stav prejavuje aj v súčasnosti. Najviac zaťažené pôdy sa nachádzajú v blízkosti hlinikárne na rovinatých prvkoch reliéfu pozdĺž rieky Hron. Záverom je potrebné zdôrazniť, že i napriek zlepšovaniu emisnej situácie v danom území, dekontaminácia pôdy a jej celkové ozdravenie s obnovením jej produkčných i mimoprodukčných funkcií je proces oveľa dlhodobejší a vyžaduje si systé-

mový prístup (nie jednorázové opatrenie). Z tohto aspektu treba pri revitalizácii senzitívneho územia Žiarskej kotliny postupovať. Bude taktiež potrebné i v budúcnosti hygienický stav pôd hodnoteného územia naďalej monitorovať.

Komplexné hodnotenie degradácie pôd na území Žiarskej kotliny je detailne spracované v samostatnej publikácii (KOBZA A I., 2008).

LITERATÚRA

- BENES, S. - PABIÁNOVÁ, J. 1987. *Prirozené obsahy, distribuce a klasifikace prvků v půdách*. Praha: VŠZ, 1987, 204 s.
- BOLT, G.H. - BRUGGENWERT, M.G.M. 1978. *Soil chemistry. Basic elements*. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Sc. publ. comp., 1978, 281 p.
- CIESLA, W. 1981. *Roczniki gleboznawcze*, T. XXXII., 1981, č.2.
- ČURLÍK, J. - ŠEFCÍK, P. 1999. *Geochemický atlas SR. Časť V: Pôdy*. Bratislava: MŽP SR, VÚPOP, 1999, 99 s.
- FIALA, K., KOBZA, J. - BARANČIKOVÁ, G. - BREČKOVÁ, V. - BŮRIK, V. - HOUSKOVÁ, B. - CHOMANIČOVÁ, J. - MATÚŠKOVÁ, L. - PECHOVÁ, B. - VARADIOVÁ, D. 1999. *Závazné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – Pôda*. Bratislava: VÚPOP, 1999, 142 s.
- HALUŠKA, L. - BERCOVÁ, K. - BALÁŽ, Š. - BIELEK, P. - MATÚŠKOVÁ, L. - BARANČIKOVÁ, G. 1994. *Vplyv vlhkosti na degradáciu PCB aktivovanou pôdnou mikroflórou*. Vedecké práce. Bratislava: VÚPÚ, 1994, č. 18, s. 65-76.
- KABATA-PENDIAS, A. - PENDIAS, H. 1992. *Trace elements in Soil and Plants*. London: CRC Press, 1992, 2nd edition, 365 p.
- KOBZA, J. 1996. *Obsah PAU v poľnohospodárskych pôdach SR*. In: Zborník z medzinárodnej ved. konf. „Agronomická fakulta a vývoj poľnohospodárstva na Slovensku“. Sekcia C, Environmentálne problémy súčasného poľnohospodárstva. Nitra: AF-VŠP, 1996, s. 92–95.
- KOBZA, J. 2007. *Aktuálny obsah fluóru v pôdach okolia hliníkárne v Žiari nad Hronom*. Vedecké práce 29, Bratislava: VÚPOP, 2007, s. 67-72.
- KOBZA, J. - BARANČIKOVÁ, G. - DODOK, R. - HRIVŇÁKOVÁ, K. - MAKOVNIKOVÁ, J. - NAČINIKOVÁ, Z. - PÁLKA, B. - STYK, J. - ŠIRÁŇ, M. 2008. *Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitívneho územia Žiarskej kotliny s dopadom na riešenie pôdoochranných opatrení*. Bratislava: VÚPOP, 2008, 78 s.
- LINKES, V. 1986. *Vznik sekundárnych slancov v okolí depónií odpadov z výroby hliníka*. Poľnohospodárstvo, roč. 32, 1986, č. 5, s. 430-437.
- MP SR. 2004. *Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy z 10. marca 2004*. In: Zbierka zákonov SR, čiastka 96 z 28. apríla 2004, Bratislava: MP SR, s. 2278-2315.
- PETRO, M. 1991. *Spríevodná správa k mape geochemických anomálií vybraného súboru prvkov na území SR v M 1 : 200 000 (správa –manuscript)*. Banská Bystrica, 1991.
- VALLA, M. - KOZÁK, J. - DRBAL, J. 1983. *Cvičení z půdoznalství II*. Praha: SPN, 1983, 280 s.
- WHITE, J.G. - WELCH, R.M. - NORVELL, W.A. 1997. *Soil Zine Map of the USA using Geostatistics and Geographic Information Systems*. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 61, 1997, p. 185-194.

POZNÁMKY KU GENÉZE ANDOZEMNÝCH PÔD A PROBLÉM ICH KLASIFIKÁCIE

NOTES TO GENESIS OF ANDOSOLS AND PROBLEM OF THEIR CLASSIFICATION

Jozef KOBZA

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

Abstract

Andosols-their characteristics and properties have been studying on four soil profiles (Poľana, Sitno in Štiavnické vrchy and Suchá hora 1 and 2 in Kremnické vrchy mountains). Important chemical (pH, Corg., Nt, Feo, Fed, Alo, Ald, P, K) and physical properties (texture, bulk density) were evaluated.

On the basis of obtained results it was found out that andosols occurring under neovolcanic mountains conditions of Slovakia are strongly deep and humous soils, with low value of bulk density ($\leq 0.9 \text{ g.cm}^{-3}$), acid to strongly acid with low content of available phosphorus and potassium. More typical andosols have been identified under forest, slightly developed dark soils occurring on agricultural land (mostly under green land near forest) with existing cambic andic Bvn horizon as a part of cambic horizon Bv could be classified as Andic Cambisols.

In addition, melanic A horizon was not determined according to our obtained results. On the contrary, fulvic A horizon was identified in our Andosols where melanic index is higher than 1.7.

Keywords: Andosols, soil genesis, classification of soils, soil properties, melanic index

Abstrakt

Základné charakteristiky a vlastnosti andozemí boli študované na štyroch pôdnych profiloch (Poľana, Sitno v Štiavnických vrchoch, Suchá hora 1 a 2 v Kremnických vrchoch). Hodnotené boli dôležité chemické (pH, Corg., Nt, Feo, Fed, Alo, Ald, P, K) a fyzikálne vlastnosti (zrinitosť, objemová hmotnosť) pôd.

Na základe nami dosiahnutých výsledkov bolo zistené, že andozeme vyskytujúce sa v podmienkach neovulkanických pohorí Slovenska sú hlboké, silne humózne pôdy s nízkou hodnotou objemovej hmotnosti ($\leq 0.9 \text{ g.cm}^{-3}$), kyslé až veľmi kyslé s nízkym obsahom prijateľného fosforu a draslíka. Typickejšie andozeme boli identifikované prevažne pod lesmi, slabo vyvinuté tmavé pôdy v poľnohospodárskej krajine (prevažne pod trvalými trávnyimi porastami v blízkosti lesa) s existujúcim kambickým andickým Bvn horizontom v časti kambického Bv horizontu majú bližšie ku kambizemiam andozemným. Existencia melanického A horizontu nebola doteraz potvrdená, naopak na základe našich dosiahnutých výsledkov bol v našich an-

dozemíach identifikovaný tzv. fulvický A horizont, pri ktorom bola zistená hodnota melanického indexu vyššia ako 1,7.

Kľúčové slová: Andozem, genéza pôdy, klasifikácia pôd, pôdne vlastnosti, melanický index

ÚVOD

V tomto príspevku pojednávame o veľmi špecifických pôdach pôdneho pokryvu Slovenska. Ich výskyt je lokalizovaný na neovulkanické pohoria. V typickej forme sa vyvíjajú z vulkanických vyvrelín, najmä z vulkanického popola (jemný pyroklastický materiál s časticami menšími ako 2 mm) s výskytom vitrickej zložky (sopečného skla). Vyznačujú sa špecifickými fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami, ktoré nepoznáme pri iných pôdach. Pokiaľ ide o klimatické podmienky, typické a dobre vyvinuté sa viažu prevažne na humídne oblasti s permanentným prevlhčením, kde pôdy nepresychajú počas roka, kde ani pevne nepremrzajú a kde je dobrá pôdna drenáž. Hydromorfné podmienky permanentného prevlhčenia výrazne ovplyvňujú akumuláciu humusu. Charakteristické pre humus andozemí je jeho pútanie s amorfnými minerálmi a s aktívnym hliníkom (NĚMEČEK A I., 1990). Takto pútané organické látky odolávajú rozkladnej činnosti mikroorganizmov. K značnému hromadeniu humusu prispievajú aj periodické anaerobné podmienky pri vysokom pútaní vody pôdou. Výsledkom sú pomerne hrubé humusové horizonty. Navyše v dôsledku vysokého obsahu amorfných koloidov sa v pôde vytvárajú zaoblené mikroagráty o veľkosti 30-40 μm . Preto majú andozeme veľmi priaznivú pórovitosť (BECH- BORAS, FEDOROFF, SOLE, 1977; LEAMY, 1981).

Jedná sa o pôdy trojhorizontné (A-B-C), pričom ich konfigurácia, charakteristika a diagnostika vlastností jednotlivých horizontov často rozširuje ich klasifikačný rozsah prevažne v sekvencii andozem až kambizem andozemná. Takéto pôdy zaberajú u nás výmeru asi 84,06 km^2 , t.j. 0,17 % pôdneho pokryvu Slovenska (KOBZA, 1999a).

MATERIÁL A METÓDY

Študované a hodnotené boli štyri pôdne profily andozemných pôd (lesné pôdy) v rozličných sopečných pohoriach stredného Slovenska (Poľana, Sitno v Štiavnických vrchoch a dva profily na Suchej hore v Kremnických vrchoch). Základné analytické charakteristiky (chemické a fyzikálne) boli zisťované podľa záväzných metód rozborov pôd (FIALA A I., 1999). Navyše bol stanovený organický fosfor podľa metódy Deana (BLACK A I., 1965) v koncentrovanej kyseline chlorovodíkovej. Pre ďalšiu skôr genetickú charakteristiku boli stanovené formy železa a hliníka (Fe_d , Al_d podľa Coffina, Fe_o , Al_o podľa Tamma), (KULÍKOVÁ, 1968).

Dosiahnuté výsledky boli hodnotené a porovnávané jednak medzi jednotlivými pôdnymi profilmi a jednak s poznatkami v literatúre.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Andozeme sú špecifické pôdy práve svojimi vlastnosťami, a to ako chemickými, tak aj fyzikálnymi.

V tabuľke 1a – 1c sú uvedené základné chemické vlastnosti andozemných pôd. Porovnávané a hodnotené sú štyri pôdne profily v troch hlavných sopečných pohoriach Slovenska, a to Poľana, Štiavnické a Kremnické vrchy. Na základe dosiahnutých údajov uvedených v tabuľke 1a vidieť, že sa jedná o pôdy kyslé až veľmi kyslé.

Tabuľka 1a Základné chemické vlastnosti andozemných pôd

Lokalita	Hor.	Hĺbka vzorky v cm	pH/H ₂ O	pH/KCl	ΔpH	Cox %	N _t %	C/N	C _{HK} /C _{FK}
Poľana (Pod Kalamárkou)	Au1	0-10	5,5	4,8	0,7	5,5	0,47	11,7	0,90
	Au2	20-30	5,3	4,6	0,7	4,6	0,31	14,8	-
	A/C	35-45	5,3	4,5	0,8	4,7	0,25	18,8	-
Sitno	Au	0-10	5,2	4,3	0,9	10,5	0,87	12,1	0,95
	Bvn	20-30	5,2	4,3	0,9	7,8	0,80	9,7	-
	B/C	35-45	5,3	4,4	0,9	5,6	0,55	10,2	-
Suchá hora 1	Au	0-10	4,3	4,0	0,3	12,7	0,92	13,8	0,38
	Bvn	60-70	4,5	4,3	0,2	7,8	-	-	0,35
	B/C	100-110	4,6	4,5	0,1	5,9	-	-	0,32
Suchá hora 2	Au	0-10	3,9	3,7	0,2	16,0	1,42	11,4	0,51
	Bvn	70-80	4,6	4,4	0,2	5,9	0,81	7,2	0,18

Zvýšená hodnota izoelektrického bodu alfofánov spôsobuje, že tzv. ΔpH (rozdiel medzi pH/H₂O a pH/KCl) je malé, v pôdnych profiloch na Kremnických vrchoch (Suchá hora 1 a 2) sa pohybuje len v úzkom rozpätí 0,2–0,3. Dokonca bolo v niektorých pôdnych profiloch andozemí zistené, že hodnota pH/H₂O bola nižšia oproti hodnote pH/KCl (ŠÁLY, 1982). Hodnoty pôdnej reakcie v uvedených profiloch sú pomerne vyrovnané. Vo všetkých pôdnych profiloch sa potvrdila prehumóznosť, pričom obsah organického uhlíka sa pohybuje v rozpätí 5,5–16,0 %, čo zodpovedá 9,5–27,6 % humusu. Vysoký obsah humusu v týchto pôdach je pravdepodobne zapríčinený tvorbou komplexov organickej hmoty s alfofánmi.

Celkový obsah dusíka (N_t) je výrazne vyšší oproti iným pôdam (BIELEK, 1998), pohybuje sa v rozpätí 0,47 – 1,42 %. Je v korelácii s vysokým obsahom humusu. Pomer C/N kolíše v rozpätí 11,4–13,8, čo zodpovedá skôr humusovej forme moder (ŠÁLY, 1982). Napriek vysokému obsahu humusu, jeho kvalita je pomerne nízka (C_{HK}/C_{FK} < 1).

Tabuľka 1b Základné chemické vlastnosti andozemných pôd

Lokalita	Hor.	Hĺbka vzorky v cm	P (Egner) mg.kg ⁻¹	P ^{org.} mg.kg ⁻¹	K (Schacht.) mg.kg ⁻¹
Poľana (Pod Kalamárkou)	Au1	0-10	29,1	960	100
	Au2	20-30	13,8	-	118
	A/C	35-45	20,2	-	125
Sitno	Au	0-10	9,2	1950	118
	Bvn	20-30	3,5	-	41
	B/C	35-45	3,5	-	75
Suchá hora 1	Au	0-10	2,8	1960	85
	Bvn	20-30	1,0	-	28
	B/C	100-110	1,5	-	20

V tabuľke 1b sú uvedené základné makroelementy – fosfor a draslík. Tieto pôdy sú charakteristické nízkym obsahom uvedených živín. Významné je však zastúpenie organického fosforu (960 – 1960 mg.kg⁻¹). V porovnaní s inými pôdami Slovenska (HRTÁNEK, 1994; KOBZA, STYK; 1997), najvyššie hodnoty organického fosforu boli zistené práve pri andozemných pôdach.

Z pohľadu genézy pôd je dôležité zastúpenie tzv. pedogénnych oxidov – železa a hliníka (Fe_o, Fe_d, Al_o, Al_d). Rozumejú sa pod nimi všetky väzby systému Fe₂O₃-FeO-H₂O vyskytujúce v pôde, resp. v zvetralinách a sedimentárnych horninách, teda všetky oxidy, hydroxidy, oxihydroxidy, ako aj stabilné vodnaté formy ako limonit a hydrohematit (SCHEFFER A I., 1961). Tvoria sa pri zvetrávaní hornín a v priebehu vývoja pôdy prekonávajú charakteristické zmeny.

V tabuľke 1c sú uvedené základné charakteristiky pedogénnych oxidov železa a hliníka.

Tabuľka 1c Základné chemické vlastnosti andozemných pôd (v %)^a

Lokalita	Hor.	Hĺbka v cm	Fe _o	Fe _d	Fe _d -Fe _o	Fe _o /Fe _d	Al _o	Al _d	Al _o +1/2Fe _o	Melanický index
Poľana (Pod Kalamárkou)	Au1	0-10	1,16	2,04	0,88	0,57	-	0,06	-	1,75
	Au2	20-30	1,16	2,10	0,94	0,55	-	0,05	-	-
	A/C	35-45	1,12	2,20	1,08	0,51	-	0,05	-	-
Sitno	Au	0-10	1,12	2,09	0,97	0,53	-	0,14	-	1,98
	Bvn	20-30	1,20	2,29	1,09	0,52	-	0,19	-	-
	B/C	35-45	1,26	2,40	1,14	0,52	-	0,16	-	-
Suchá hora 1	Au	0-10	1,01	1,81	0,80	0,53	3,15	2,73	3,65	2,63
	Bvn	60-70	1,01	1,69	0,68	0,63	2,02	2,07	2,52	2,24
	B/C	100-110	1,14	1,94	0,80	0,62	3,02	3,02	3,59	2,31
Suchá hora 2	Au	0-10	1,30	2,00	0,70	0,65	2,93	2,69	3,58	2,25
	Bvn	70-80	2,14	3,00	0,86	0,71	2,70	3,55	3,77	2,38

Ich množstvo sa považuje za jedno z najdôležitejších diagnostických kritérií pôdných horizontov (KOREŇ, 1984). Najmä pomer Fe_o : Fe_d (aj tzv. pomer aktivity) pri profilovom hodnotení charakterizuje stupeň migrácie železa v pôdnom profile; pomer kryštalických foriem k amorfným sa používa na posúdenie vývojového stupňa pôdy, resp. na odlíšenie produktov starých pôdotvorných procesov (SCHLICHTING, BLUME, 1961).

Obsah Fe_o (oxalátové) je v pôdných profiloch pomerne vyrovnaný, príp. s hĺbkou mierne stúpa, čo do určitej miery súvisí s podmienkami prevlhčenia. Vyrovnaný je obsah Fe_d, jeho

namerané hodnoty sú prevažne vyššie ako 2 %, často s miernym nárastom do hĺbky. Hodnoty pomeru aktivity (Fe_o/Fe_d) medzi jednotlivými profilmi, ako aj v rámci profilov sú pomerne vyrovnané, čo nepotvrzuje ich výraznejšiu vekovú heterogenitu. Podobne vyrovnaný je aj podiel kryštalických foriem (Fe_d-Fe_o).

Obsah Al_d medzi profilmi je dosť variabilný, v pôdnych profiloch však pomerne vyrovnaný. Jedným z diagnostických kritérií andických znakov je $Al_o+1/2Fe_o \geq 2$ (WRB, 2006). Toto kritérium je na niektorých hodnotených pôdnych profiloch splnené (Tab. 1c).

Predmetom diskusií je často vlastné hodnotenie povrchových humusových diagnostických horizontov, a to v sekvencii melanický – umbrický – fulvický. Jedným z kritérií je práve hodnota melanického indexu. Na základe niektorých našich výsledkov, ako aj iných autorov (BALKOVIČ A I., 2006) kritéria pre melanický horizont neboli potvrdené. Hodnota melanického indexu je pre tento horizont stanovená na $\leq 1,7$, čo sa v našich profiloch nepotvrdilo. Často sú humusové horizonty andozemných pôd označované ako umbrické, ich vlastnosti môžu byť však značne variabilné. Navyše nie je tu definovaná hodnota melanického indexu (SOBOCKÁ, 2000; WRB 2006), ktorá môže byť nižšia i vyššia ako 1,7. Na základe doteraz nami zistených údajov sa ukazuje, že diagnostické kritéria majú bližšie k fulvickému horizontu, kde okrem iných dôležitých kritérií (WRB 2006) hodnota melanického indexu je vyššia ako 1,7, čo sa potvrdilo vo všetkých našich pôdnych profiloch andozemných pôd viacerých vulkanických pohorí (Tab. 1c).

Okrem dôležitých chemických vlastností sú nemenej dôležité aj fyzikálne vlastnosti (Tab. 2).

Tabuľka 2 Základné fyzikálne vlastnosti andozemných pôd

Lokalita	Hor.	Hĺbka v cm	< 0,002 mm %	0,002-0,05mm %	0,05-2 mm %	ζ_d g.cm ⁻³
Poľana (Pod Kalamárkou)	Au1	0-10	10,45	65,73	23,82	0,98
	Au2	20-30	10,40	67,39	22,21	1,05
	A/C	35-45	11,17	69,31	19,52	1,05
Sitno	Au	0-10	10,02	51,42	38,56	0,85
	Bvn	20-30	11,10	62,00	26,90	-
	B/C	35-45	12,04	68,73	19,23	-
Suchá hora 1	Au	0-10	10,72	29,72	59,56	0,42
	Bvn	60-70	4,48	29,97	65,55	0,65
	B/C	100-110	5,92	25,12	68,96	0,82
Suchá hora 2	Au	0-10	10,00	24,76	65,24	0,31
	Bvn	70-80	4,00	20,20	75,80	0,37

Jedným z dôležitých andických znakov je hodnota objemovej hmotnosti ($\zeta_d \leq 0,9$ g.cm⁻³) (SOBOCKÁ, 2000; WRB 2006). S výnimkou pôdneho profilu (Poľana) je toto kritérium splnené. Zo zrnitostných frakcií prevládajú frakcie 0,002 – 0,05 mm a 0,05 – 2 mm v celom pôdnom profile.

Pôdne profily andozemných pôd



Obrázok 1 pod Kalamárkou
(Poľana)



Obrázok 2 Sitno
(Štiavnické vrchy)



Obrázok 3 Suchá hora
(Kremnické vrchy)

ZÁVER

V príspevku sú hodnotené základné chemické a fyzikálne vlastnosti andozemných pôd v niektorých vulkanických pohoriach Slovenska (Poľana, Štiavnické a Kremnické vrchy). Na základe dosiahnutých výsledkov hodnotených profilov možno konštatovať, že súčasná diagnostika pôdneho typu andozem v klasifikačnom systéme pôd Slovenska (SOBOČKÁ, 2000) neodráža presne skutočný stav poznania týchto pôd na Slovensku a nie je jednoznačne definovaná. Bolo zistené, že sa jedná o pôdy humózne so značne rozdielnym obsahom humusu, ako aj celkového dusíka. Humusové horizonty týchto pôd majú bližšie svojimi diagnostickými kritériami k fulvickému horizontu, ktorý navrhujeme uplatniť aj v pripravovanom novom klasifikačnom systéme pôd Slovenska. Neboli totiž jednoznačne potvrdené diagnostické kritéria pre melanický horizont, ktorý je uvedený v doteraz platnom morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd Slovenska (SOBOČKÁ, 2000). Dôležité tiež bude potrebné bližšie špecifikovať charakter andozemných pôd v sekvencii Ranker andozemný – Kambizem andozemná – Andozem modálna, ktoré sa nachádzajú často v jednej asociácii pôd spolu s kambizemiami.

LITERATÚRA

- BALKOVIČ, J. – JURÁNI, B. – ČEMANOVÁ, G. 2006. *Notes to classification of Andosols in Slovakia*. Bratislava: Phytopedon, Vol. 5, 2006, No.2, p. 8-16.
- BECH-BORAS, J. – FEDOROFF, N. - SOLE, A. 1977. *Étude des Andosols d'Ólot ('Gerona, Espagne), micromorphologie*. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Paris, Vol. 15, 1977, p. 381-390
- BIELEK, P. 1998. Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Bratislava: VÚPÚ, 1998, 256 s. ISBN 80-85361-44-2.
- FIALA, K., a i. 1999. *Zdŕžané metódy rozborov pôd*. ČMS-P. Bratislava: VÚPOP, 1999, 142 s. ISBN 80-85361-55-8.
- BLACK, C.A., a i. 1965. *Methods of Soil Analyses. Part 2*. Medison, Wisconsin, 1965, p. 1038-1040.
- HRTÁNEK, B. 1994. *Frakcie fosforu v orniciach niektorých hlavných pôdnych typov Slovenska*. Ved. práce VÚPÚ Bratislava, 1994, č. 18, s. 87-99.
- KOBZA, J. 1999a. *Legenda k pôdnej mape SR v M 1:400 000*. Bratislava: VÚPOP, 64 s. ISBN 80-85361-50-7.

-
- KOBZA, J. 1999b. *Contribution to Andosols of some Volcanic Mountains in Central Slovakia*. Ved. práce VÚPOP Bratislava, 1999, č. 22, s. 83-88.
- KOBZA, J. - STYK, J. 1997. *Phosphorus and potassium retrospective monitoring in main soils of Slovakia*. Ved. práce VÚPÚ Bratislava 1997, č. 20/II, s. 167-174.
- KOREŇ, M. 1984. *Pôdy na pelokarbonátových horninách Chočských vrchov*. Bratislava: VEDA, Vyd. SAV, 1984, 188 s.
- KULÍKOVÁ, A. 1968. *Stanovení volných kyslíčnicku železa a hliníka v půdách*. Rostl. výroba, Roč. 14, (XLI), 1968, č. 7, s. 707-716.
- LEAMY, M. 1981. *The purpose, mandate and progress of ICOMAND*. In: Proc. 3rd. Inter. Soil Classification Workshop, ACSAD, Damascus, 1981, p. 347-353.
- SOBOČKÁ, J. (ED.) 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava: VÚPOP a Societas pedologica slovacica, 2000, 76 s. ISBN 80-85361-70-1
- NĚMÉČEK, J. - SMOLIKOVÁ, L. - KUTÍLEK, M. 1990. *Pedologie a paleopedologie*. Praha: Academia, 1990, 552 s.
- SCHIEFFER, F. A. I. 1961. *Dreischicht-Tonminerale mit Aluminium-Zwischenschicht-belegung in mitteleutschen sauren Braunen Waldböden*. Z. Pfl. - Ernähr. Düng. Bodenkunde, Vol. 92, 1961, s. 201-207.
- SCHLICHTING, E. - BLUME, H.P. 1961. *Art und Ausmass der Veränderungen des Bestandes mobiler Oxyde in Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel und ihren Horizonten*. Z. Pfl.-Ernähr. Düng. Bodenkunde, Vol. 96, 1961, s. 144-169.
- ŠÁLY, R. 1982. *Pedológia a mikrobiológia*. Zvolen: VŠLD, 1982, 384 s.
- WRB, IUSS WORKING GROUP 2006. *World reference base for soil resources 2006*. 2nd edition. World Soil Resources Reports. Rome: FAO, 2006, No. 103, 132 p. ISBN 92-5-105511-4
-

VYHODNOTENIE AKTUÁLNEHO STAVU A VÝVOJA AKTÍVNEHO HLINÍKA VO VYBRANÝCH SKUPINÁCH PÔD

ACTUAL STATUS AND DEVELOPMENT OF ACTIVE ALUMINIUM IN SELECTED SOIL GROUPS

Jarmila Makovníková

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

Abstract

In this paper are presented results of status and development of active aluminium in agricultural land of Slovakia. Active aluminium content has been observed in the frame of Partial monitoring system - Soil, creating by basic monitoring network and key monitoring sites. The soil samples were collected from the depth 0–0.10 m in 1993, 1997 and 2002 years. Active aluminium content (in soil samples with pH value in KCl lower than 6.0, $n=116$), basic cation Ca^{2+} , pH value in KCl and Corg were determined (FIALA ET AL., 1999). Active aluminium content (status in 2002 year) moves from 1.06 to 963.40 mg.kg^{-1} . The highest average active aluminium content was measured in Haplic Podzols group (permanent grassland) in the depth of 0 - 0.10 m ($661.35 \text{ mg.kg}^{-1}$). The lowest average value was measured in non-calcerous Mollic Fluvisols group (arable land). Increasing of aluminium (between 1993 and 2002 years) content were recorded in the case of Haplic Podzols group (permanent grassland), Cambisols developed on Flysh belt and Dystric Fluvisols (both arable land). From the viewpoint of Spearman correlation analyses active aluminium content was in relation with pH in KCl ($r = -0.76$) as well as with Cox ($r = 0.60$). Relation between $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ indicates degree of soil degradation. Unsuitable relations were determined in Gleyic Stagnosols group and Dystric Fluvisols group (both arable land). A methodological process of selective sequential extraction according to Zeien and Brümmer has been used for two key localities (Cambisols). Aluminium is bound with relative high share on Fe oxides as well as in residual fraction. The mobile fraction is very important in the view of plant uptake. In spite of relatively low content in % of total content relation between $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ were higher than 1.0 for both localities.

Keywords: soil monitoring, pH value, active aluminium

Abstrakt

Príspevok sa venuje vyhodnoteniu stavu a vývoja aktívneho hliníka vo vybraných skupinách poľnohospodársky využívaných pôd Slovenska. Ako materiál sme použili pôdne vzorky základnej siete ČMS-P odobraté v 1. (rok 1993), 2. (rok 1997) a 3. (rok 2002) odberovom cykle

z monitorovacích lokalít v jednotlivých skupinách pôd. V získaných vzorkách ($n=116$) bola stanovená výmenná pôdna reakcia (roztokom neutrálnej soli KCl) (FIALA A I., 1999). Vo vzorkách s hodnotou pH v KCl nižšou ako 6,0 bol stanovený aktívny Al podľa Sokolova, obsah výmenného bázičského katiónu Ca^{2+} (FIALA A I., 1999), pôdny organický uhlík (Cox) podľa Ťurina v modifikácii Nikitina. V pôdnych vzorkách odobratých z kľúčových lokalít reprezentujúcich kambizeme bola stanovená výmenná pôdna reakcia, aktívny hliník podľa Sokolova, obsah výmenného bázičského katiónu Ca^{2+} a selektívna sekvenčná extrakcia podľa Zeiena a Brummera (ZEIEN, BRÜMMER, 1989). Obsah aktívneho hliníka v sledovaných skupinách pôd sa v roku 2002 pohyboval v rozsahu od 1,06 do 963,40 mg.kg^{-1} , najvyššia priemerná hodnota v hĺbke 0–10 cm (661,35 mg.kg^{-1}) bola stanovená v skupine pôd podzoly, rankre a litozeme a najnižšia v skupine pôd čiernice na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch a to 4,22 mg.kg^{-1} . K zvýšeniu obsahu aktívneho hliníka (porovnanie rokov 1993 a 2002) došlo v skupine podzolov, rankrov a litozemí využívaných ako trávny porast a v skupine kambizemí na flyši a fluvizemí na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch využívaných ako orné pôdy. Spearmanova analýza ukázala zápornú signifikantnú koreláciu medzi obsahom aktívneho hliníka a hodnotou pH v KCl ($r = -0,76$) a kladnú koreláciu s obsahom organickej hmoty ($r = 0,60$). Pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ indikuje stupeň degradácie pôdy. Vysoký stupeň degradácie pôdy sme stanovili aj na orných pôdach a to v skupine fluvizemí na nekarbonátových fluviálnych sedimentoch a v skupine pseudoglejov. Na základe sekvenčnej analýzy aplikovanej na kľúčové lokality môžeme konštatovať, že hliník je prevažne viazaný v silikátoch v reziduálnej frakcii a oxidmi železa a percentuálny podiel v mobilnej frakcii je nízky, hodnota mobilného hliníka v mg.kg^{-1} však predstavuje vysoké riziko pre koreňový systém rastlín a príjem živín.

Kľúčové slová: monitoring pôd, pôdna reakcia, aktívny hliník

ÚVOD

K mimoriadne nepriaznivým dôsledkom acidifikácie patrí aj zvyšovanie mobility iónov hliníka, keďže rozpustnosť rôznych foriem hliníka je primárne podmienená hodnotami pôdnej reakcie. Dominantnou toxickou formou hliníka v pôde je aktívny hliník, tj. voľné katióny Al^{3+} a hydrolytické ióny hliníka $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. S rastúcou hodnotou pH vzniká hydroxid hlinitý, ktorý je potenciálne nerozpustný. Zlúčeniny hliníka sa rozpúšťajú aj v silne alkalickom prostredí a vytvárajú záporne nabité tetrahydroxidohlinitanové ióny $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.

Voľné katióny hliníka v pôde patria k významným faktorom obmedzujúcim rast kultúrnych plodín na pôdach so slabo kyslou až kyslou hodnotou pôdnej reakcie (HORÁK A I., 1995). K typickým príznakom hliníkovej toxicity patrí redukcia dĺžky koreňov spojená so znížením absorpcie živín a vody, odumieranie koreňového meristému, redukcia príjmu vápnika a horčička vplyvom kompetitívnej inhibície, redukcia príjmu dusíka ako aj zníženie metabolizmu železa inhibíciou redukcie trojmocného železa na dvojmocné. Toxicita voľných katiónov hliníka má negatívny vplyv na celkový zdravotný stav rastlín, pričom medzi citlivé plodiny patrí napríklad jačmeň, medzi stredne tolerantné pšenica, zemiaky a ovos (MAČUHA, 1999).

MATERIÁL A METÓDY

Ako materiál sme použili pôdne vzorky základnej siete ČMS-P odobraté v 1. (rok 1993), 2. (rok 1997) a 3. (rok 2002) odberovom cykle z monitorovacích lokalít v jednotlivých skupinách pôd. V získaných vzorkách ($n=116$) bola stanovená výmenná pôdna reakcia (roztokom neutrálnej soli KCl) potenciometricky (Fiala a i., 1999). Vo vzorkách s hodnotou pH v KCl nižšou ako 6,0 bol stanovený aktívny Al podľa Sokolova a obsah výmenného bázického katiónu Ca^{2+} (Fiala a i., 1999) a pôdny organický uhlík (Cox) podľa Ľurina v modifikácii Nikitina. V pôdnych vzorkách odobratých z kľúčových lokalít reprezentujúcich vybrané skupiny pôd bola stanovená výmenná pôdna reakcia, aktívny hliník podľa Sokolova, obsah výmenného bázického katiónu Ca^{2+} a selektívna sekvenčná extrakcia podľa Zeiena a Brümmera (Zeien, Brümmer, 1989).

Pri hodnotení stavu a vývoja aktívneho hliníka sme sa zamerali na hĺbku 0–10 cm, nakoľko v monitorovanom období práve v tejto hĺbke dochádza k výraznejším zmenám pôdnej reakcie, ktorá primárne podmieňuje rozpustnosť a tým aj potenciálnu toxicitu aktívneho hliníka.

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

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vychádzajúc z parametrov rozpustnosti hliníka, aktívny Al bol nameraný len v pôdnych vzorkách s hodnotami $\text{pH/KCl} < 6,0$ v jednotlivých skupinách pôd. Zo sledovaných pôdnych predstaviteľov sú to podzoly, kambizeme, pseudogleje, fluvizeme a čiernice na nekarbonátových substrátoch ako aj hnedozeme degradované na spraiach.

Obsah aktívneho hliníka v sledovaných skupinách pôd sa v roku 2002 pohyboval v rozsahu od 1,06 do 963,40 mg.kg^{-1} , najvyššia priemerná hodnota v hĺbke 0–10 cm, a to 661,35 mg.kg^{-1} , bola stanovená v skupine pôd podzoly, rankre a litozeme, var. silikátové, čo je v súlade s najnižšou priemernou hodnotou pôdnej reakcie v tejto skupine ($\text{pH v KCl } 3,16$) a najnižšia v skupine pôd čiernice na nekarbonátových fluvialných sedimentoch a to 4,22 mg.kg^{-1} (Tab.1). Pozornosť je potrebné venovať vysokým maximálnym hodnotám aktívneho hliníka stanoveným na orných pôdach (v skupine fluvizeme na nekarbonátových fluvialných sedimentoch – 271,1 mg.kg^{-1}), ktoré môžu výrazne inhibovať vývin pestovaných kultúrnych plodín ako aj následne kontaminovať potravinový reťazec. Výrazný je rozdiel v priemerných hodnotách medzi ornými pôdami a trávnyimi porastmi pri tých istých pôdnych predstaviteľoch, ktorý je dôsledkom vzťahu medzi kvalitou pôdy a jej využívaním a je ovplyvnený na jednej strane materským substrátom, jeho kyslosťou či zásaditosťou, na druhej strane sa pridáva vplyv antropogénnych činiteľov ako sú obrábanie pôdy, aplikácia hnojív, ako aj spôsob využívania pôdy.

Pomer ekvivalentných množstiev výmenných katiónov $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ indikuje stupeň degradácie pôdy. Pohybuje sa od 0,12 do 58,81. Grišina a Baranova uvádzajú kritickú hladinu pomeru $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ pre citlivé plodiny 0,50 a pre menej citlivé plodiny do 1,00 (GRÍŠINA, BARANOVA, 1990). Vy-

Tabuľka 1 Štatistická distribúcia aktívneho hliníka v roku 2002 v hĺbke 0–10 cm (rok odberu 3. cyklu)

Pôdny predstaviteľ ¹	Al v mg.kg ⁻¹			Al ³⁺ /Ca ²⁺	pH v KCl
	Min	Max	X		
kambizeme na vulkanitoch TTP (n=8)	1,20	249,00	45,79	5,40	4,86
kambizeme na kys. substr. a pestrých bridliciach OP (n=8)	2,13	7,90	4,38	0,50	5,50
kambizeme na kys. substr. a pestrých bridliciach TTP (n=17)	1,45	289,80	80,64	1,87	4,40
kambizeme a kambizeme pseudoglejové na flyši OP (n=10)	4,20	249,45	42,24	0,63	5,53
kambizeme a kambizeme pseudoglejové na flyši TTP (n=14)	5,52	385,12	107,51	1,41	4,67
čiernice na nekarb. fluvialných sedimentoch OP (n=5)	2,66	6,66	4,22	0,12	4,85
fluvizeme na nekarb. fluvialných sedimentoch OP (n=9)	1,06	271,10	85,83	2,46	5,66
pseudogleje na polyg. spraš. hlinách OP (n=19)	2,10	23,43	8,16	1,22	5,78
pseudogleje na polyg. spraš. hlinách TTP (n=8)	3,00	38,70	11,78	0,15	5,52
hnedozeme na sprašiach OP (n=11)	1,80	9,07	5,14	0,44	6,12
podzoly, rankre a litozeme var. silikátové (n=7) TTP	321,90	963,40	661,35	58,81	3,16

Vysvetlivky: OP – orná pôda, TTP – trvalý trávny porast, x_{\min} – minimálna hodnota, x_{\max} – maximálna hodnota, x – aritmetický priemer

soký stupeň degradácie pôdy sme však stanovili aj na orných pôdach a to v skupine fluvizemí na nekarbonátových fluvialných sedimentoch a v skupine pseudoglejov.

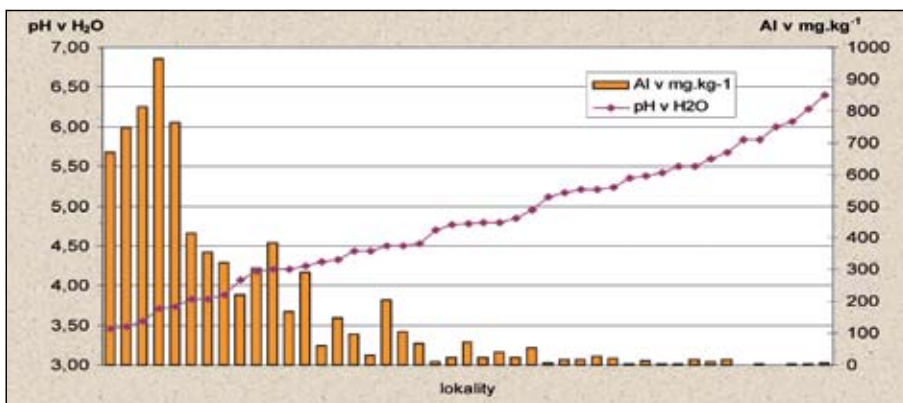
Tabuľka 2 Korelačné koeficienty (r) medzi obsahom aktívneho Al a pH v KCl a obsahom organickej hmoty v hĺbke 0–10 cm

korelačný koeficient	rok 1993	rok 1997	rok 2002
aktívny Al a pH v KCl	-0,83	-0,88	-0,76
Aktívny Al a Cox	0,67	0,65	0,60

Úzka záporná korelácia obsahu aktívneho hliníka s hodnotou pôdnej reakcie v celom súbore pôd (Tab. 2, Obr. 1 – skupina pôd podzoly, rankre, litozeme, var. silikátové a kambizeme) je v súlade s výsledkami prác viacerých autorov (MRVIČ, 2007; MAKOVNÍKOVÁ, 2002; MAKOVNÍKOVÁ, KANIANSKA, 1996; KOZÁK, BORŮVKA, 1998) a zvyrazňuje potenciálne nebezpečenstvo acidifikácie, ktoré je úzko spojené s nárastom obsahu aktívneho hliníka, čo predstavuje výrazný stresový faktor pre rastliny. Vyšší obsah aktívneho hliníka v kontexte s vyšším obsahom organickej hmoty (kladná signifikantná korelácia) súvisí s výraznými rozdielmi v obsahu Cox medzi ornými pôdami a trávnym porastom pri rovnakých pôdnych predstaviteľoch, kedy pri trávnych porastoch

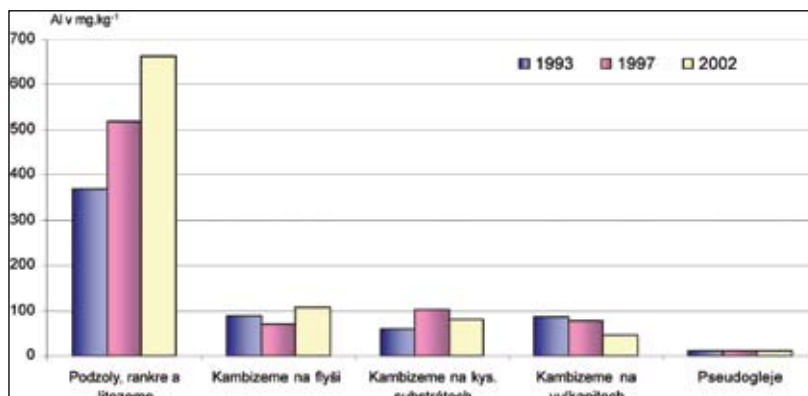
(s nižšou hodnotou pH a teda vyšším obsahom aktívneho hliníka) narastá obsah organickej hmoty, ale s horšími parametrami jej kvalitatívneho hodnotenia (BARANČIKOVÁ A I., 2007).

Obrázok 1 Obsah aktívneho Al v podzoloch, rankroch, litozemiach a kambizemiach v kontexte s hodnotou pôdnej reakcie

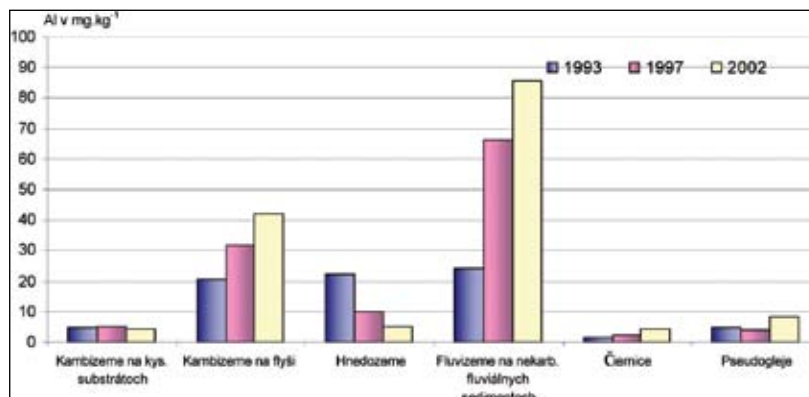


Zmeny v obsahu aktívneho hliníka v troch odberových rokoch v orných pôdach a trvalých trávnych porastoch sú znázornené na obrázkoch 2 a 3. Analytické stanovenie aktívneho hliníka je závislé na hodnote pôdnej reakcie (pH/KCl < 6,0), preto nie je možné stanoviť hliník pre tie isté lokality v každom odberovom roku, z tohto dôvodu ani nehodnotíme štatistickú preukaznosť zmien obsahu aktívneho hliníka. K zjavnému nárastu došlo v skupine podzolov, rankrov a litozemí využívaných ako trávny porast, ako aj v skupine kambizemí na flyši a fluvizemí na nekarbonátových fluvialných sedimentoch využívaných ako orné pôdy.

Obrázok 2 Hodnoty aktívneho hliníka v skupinách pôd využívaných ako trvalé trávne porasty v rokoch 1993, 1997 a 2002 (hĺbka 0–10 cm)

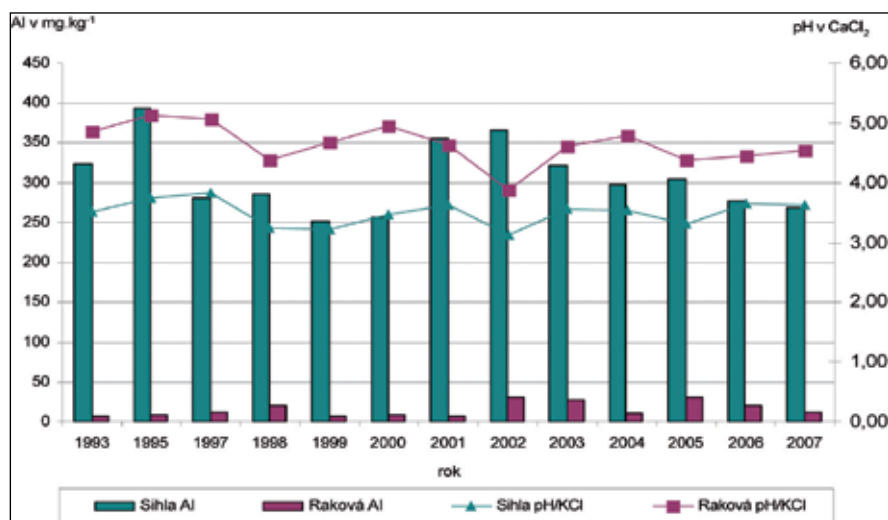


Obrázok 3 Hodnoty aktívneho hliníka v skupinách pôd využívaných ako orné pôdy v rokoch 1993, 1997 a 2002 (hĺbka 0–10 cm)



Aktívny hliník Al^{3+} bol sledovaný každoročne aj na vybraných kľúčových lokalitách. Vývoj aktívneho hliníka na dvoch lokalitách Sihla a Raková, reprezentujúcich kambizeme využívané ako trvalý trávny porast, je znázornený na obrázku 4.

Obrázok 4 Vývojové trendy aktívneho hliníka na vybraných kľúčových lokalitách



Rozpustnosť a tým aj prístupnosť hliníka exponenciálne narastá s klesajúcou hodnotou pôdnej reakcie. Pomer $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ indikujúci stupeň degradácie pôdy je na lokalite Raková v roku 2007 1,45 a na lokalite Sihla 91,20. Kritická hladina pomeru $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ pre citlivé plodiny je 0,50, pre menej citlivé plodiny 1,00 (GRIŠINA, BARANOVA, 1990) a na obidvoch lokalitách je kritická hladina výrazne prekročená. Hodnotenie distribúcie hliníka v pôde a jeho väzbu na pôdne komponenty umožňuje metodologický postup selektívnej sekvenčnej extrakcie (ZEIEN, BRÜMMER, 1989). Distribúciu hliníka v pôde sekvenčnou analýzou sme stanovili v hĺbke 0–0,10 m, nakoľko v tejto hĺbke prebieha najaktívnejší príjem stopových prvkov rastlinami a aj hodnotenie ich vplyvu je najzávažnejšie. Selektívnou sekvenčnou extrakciou podľa Zeiena a Brümmera sme stano-

vili sedem frakcií hliníka a to: 1. frakcia – mobilná, 2. frakcia – ľahko mobilizovateľná, 3. frakcia – okludovaná na oxidy Mn, 4. frakcia – viazaná pôdnou organickou hmotou, 5. frakcia – viazaná amorfnými oxidmi Fe, 6. frakcia – viazaná dobre kryštalizovanými oxidmi Fe a 7. frakcia – reziduálna (Tab. 3). Lokality reprezentujú kambizeme využívané ako trvalý trávny porast, odlišujú sa hodnotou pH ako aj obsahom Cox (KOBZA A I., 2003), celkovým obsahom Al ako aj substrátom, na ktorom sú vyvinuté (lokalita Raková – flyš, lokalita Sihla – kyslé substráty) percentuálny pomer Al v jednotlivých frakciách však ostáva zachovaný a stúpa v poradí: ľahko mobilizovateľná < okludovaná na oxidy mangánu < mobilná < viazaná pôdnou organickou hmotou < viazaná amorfnými oxidmi železa < viazaná kryštalizovanými oxidmi železa < reziduálna. Výrazné rozdiely v mobilnej frakcii sú determinované rozdielnou hodnotou pH v KCl na sledovaných lokalitách (Sihla 3,51 a Raková 4,86). Napriek tomu, že hliník je prevažne viazaný v silikátoch v reziduálnej frakcii a oxidmi železa a percentuálny podiel v mobilnej frakcii je nízky, hodnota mobilného hliníka v mg.kg⁻¹ v prípade týchto dvoch lokalít predstavuje vysoké riziko pre koreňový systém rastlín a príjem živín (Kozák, Borůvka, 1998).

Tabuľka 3 Selektívna sekvenčná extrakcia hliníka na vybraných kľúčových lokalitách (odber r. 1993)

Lokalita	Al	1.frakcia	2.frakcia	3.frakcia	4.frakcia	5.frakcia	6.frakcia	7.frakcia
Sihla	Al v % z totálneho obsahu	3,9	0,01	0,25	3,65	9,23	10,3	72,66
	Al v mg.kg ⁻¹	366	0,92	23	338	855	953	6725
Raková	Al v % z totálneho obsahu	0,1	0,07	0,09	1,5	8,2	12,2	77,3
	Al v mg.kg ⁻¹	12,75	7,5	10,5	170,6	1007,6	1386	8790

Obsah hliníka v mobilnej frakcii (extrakcia 1 M NH₄NO₃) podľa Zeiena a Brummera je o niečo vyšší v porovnaní so stanovením aktívneho Al podľa Sokolova (extrakcia 1M KCl). Na lokalite Sihla je to o 12 % a na lokalite Raková o 44 %.

ZÁVER

Priemerné hodnoty aktívneho hliníka v III. odberovom cykle monitoringu pôd v poľnohospodárskych pôdach SR boli výrazne nižšie v orných pôdach oproti trvalým trávnym porastom, čo je dôsledkom vzťahu medzi kvalitou pôdy a jej využívaním. Napriek tomu boli namerané vysoké maximálne hodnoty aj na orných pôdach, ktoré priamo korelujú s nižšou hodnotou pôdnej reakcie. Spomalenie vývoja rastlín ako aj vplyv na výživu rastlín, ktoré patria k hlavným symptómom hliníkovej toxicity sa teda netýkajú len trávnych porastov ale v nemalej miere aj orných pôd s hodnotou pôdnej reakcie v slabo kyslej a kyslej oblasti, s nižšou kvalitou organickej hmoty. Týmto pôdam je potrebné v budúcnosti venovať pozornosť a využívať všetky

dostupné agrotechnické opatrenia zamerané predovšetkým na optimalizáciu pôdnej reakcie. Pomer ekvivalentných množstiev výmenných kationov Al^{3+}/Ca^{2+} indikuje stupeň degradácie pôdy, vysoký stupeň degradácie na orných pôdach sme stanovili v skupine fluvizemí na nekarbonátových fluvialných sedimentoch a v skupine pseudoglejov.

LITERATÚRA

- BARANČIKOVÁ, G. – MAKOVNIKOVÁ, J. – PÁLKA, B. 2007. *Obsah organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska (mapový výstup)*. Stručná metodika prístupu k tvorbe mapy. Realizačný výstup Monitoringu POH za rok 2007, 2007, 5 s.
- GRÍŠINA, L. A. – BARANOVA, T.A. 1990. *Vplyv kyslých zrážok na vlastnosti pôd lesného ekosystému južnej tajgy*. Lesné pôdoznanectvo, 1990, č. 10, s.121-136.
- FIALA, K., A. I. 1999. *Návrh metodík chemického rozboru pôd pre účely pôdneho monitoringu*. Bratislava: VÚPOP, 1999, 60 s. ISBN 80-85361-55-8.
- HORÁK, V. – DOLEJŠKOVÁ, J. – HEJTMÁNKOVÁ, A. 1995. *Toxicita hliníku v rastlinách*. Rostlinná výroba, 1995, č. 41, s. 239-245.
- KANIANSKA, R. 2000. *Acidifikácia pôd vplyvom kyslých atmosférických polutantov*. Bratislava: VÚPOP, 2000, 96 s. ISBN 80-85361-73-6.
- KOBZA, J., A. I. 2002. *Monitoring pôd SR*. Bratislava: VÚPOP, 2002, 180 s. ISBN 80-89128-04-1.
- KOZÁK, J. - BORŮVKA, L. 1998. *Species of Al ions as related to some characteristics of both agricultural and forest soils of the Šumava region*. Rostlinná výroba, 1998, č. 44, s. 419-426.
- MAČUHA, P. 1999. *Reakcia domácich odrôd pšenice ozimnej na toxické pôsobenie Al^{3+} kationov pri nízkom pH*. Poľnohospodárska výroba a skúšobníctvo, roč. 7, 1999, č. 3-4, s. 25-27.
- MAKOVNIKOVÁ, J. 2002. *Vplyv pôdnych parametrov na distribúciu hliníka v pôdach SR*. Agriculture, roč. 51, 2002, č. 8, s. 436-441.
- MAKOVNIKOVÁ, J. – KANIANSKA, R. 1996. *Aktívny hliník a jeho súčasný stav v pôdach SR*. Rostlinná výroba, roč. 42, 1996, č. 7, s. 289-292.
- MRVIČ, V. – JAKOVLJEVIČ, M. – STEVANOVIČ, D. – ČAKMAK, D. 2007. *The forms of aluminium in Stagnosols in Serbia*. Plant Soil and Environment, roč. 53, 2007, p. 482-489.
- ZEIEN, H. – BRÜMMER, G.W. 1989. *Chemische Extraktionen zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Boden*. Mitteil. DBG., 1989, Nr. 59, s. 505-510.

MOŽNOSTI HODNOTENIA VLHKOSTNÉHO STAVU PÔDY POMOCOU NEDEŠTRUKČNÝCH METÓD

OPPORTUNITIES OF EVALUATION OF SOIL MOISTURE STATE WHEREBY NON-DESTRUCTIVE METHODS

Jozef Mališ

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, email: j.malis@vupop.sk

Abstract

Soils on slopes are remarkable due to the several particularities in their water and nutrient balance. Relief of terrain significantly affected soil production process in this case and it modifies momentary soil properties as well. Therefore it is necessary to take into consideration field factors, particularly geomorphological features or soil depth. Geophysical method of electrical resistivity tomography could be helpful at soil investigation in broader spatial context. By interpretation of our measurements we obtained new scale of soil resistivity that allowed us to identify such phenomena as ground water table and capillary fringe, to estimate total soil depth and soil texture. This measurement was led on the north slopes of orographic unit Javorie within the frame of woodlands, where parent material of soil has been formed from thick layers of soil deposits.

Keywords: capillary fringe, relief of terrain, soil depth

Abstrakt

Pôdy na svahoch sa vyznačujú viacerými špecifikami z pohľadu ich vodného a živinového režimu. Reliéf terénu v tomto prípade významným spôsobom ovplyvňoval pôdotvorný proces a modifikuje tiež momentálne pôdne vlastnosti. Preto je potrebné pri prieskume pôd na svahoch brať do úvahy stanovištné faktory, najmä geomorfologické charakteristiky či hĺbku pôdy. Geofyzikálna metóda elektrickej rezistivitnej tomografie nám môže pomôcť pri získavaní poznatkov o pôde v širších priestorových súvislostiach. Interpretáciou našich meraní sme získali novú škálu pôdnej rezistivity, ktorá nám umožnila identifikovať také fenomény ako hladinu tzv. svahovej vody, kapilárnu obrubu či odhadnúť zrnitostné zloženie pôdy a jej hĺbku. Merania boli vykonané na severných svahoch orografického celku Javorie v rámci lesných porastov, kde substrát pôd tvoria hrubé vrstvy svahovín¹.

Kľúčové slová: kapilárna obruba, reliéf terénu, hĺbka pôdy

¹ Svahoviny – sypké alebo len nepatrne spevnené, obyčajne zvrstvené zeminy, ktorých pohyb a uloženie na svahoch je výsledkom rôznych procesov za periglaciálnych podmienok. Sú to teda svahové sedimenty, pričom v ich transporte mala hlavný význam soliflukcia. Svahoviny tvoria pôdotvorný substrát väčšiny našich pôd, pričom ich pôvod často nekorešponduje priamo s kompaktnou horninou nachádzajúcou sa „in situ“.

ÚVOD

Vplyv stanovištných faktorov na hydrofyzikálne vlastnosti pôdy

Reliéf terénu je „tvorcom pôdných osudov“ (DOKUČAJEV, IN: ŠÁLY, 1988). Mnohé pôdne charakteristiky sa menia v korelácií s priestorovou škálou topografickej variability (Boer, a i., 1996). Vzhľadom k tomu, že väčšina pôd Slovenska sa nachádza v členitom teréne, pričom ich pôdotvorný proces prebiehal v zložitých klimatických podmienkach pleistocénneho obdobia, je nevyhnutné vnímať pôdu ako trojrozmerný útvar variabilný v závislosti od reliéfu terénu (ŠÁLY, 1986).

Často sa zabúda na veľký význam pôdotvorného substrátu z hľadiska spolupodieľania sa na plnení rôznorodých funkcií pôdy (STERNBERG A I., 1996), s ktorou tvoria – v prípade nespevnených substrátov – úzko prepojený systém. Materská hornina spolu s reliéfom a klímou sa výrazným spôsobom zapísali do pôdotvorného procesu pôd na svahoch, pričom okrem iného determinujú aj hĺbku pôdy. Hĺbka pôdy je rozmerom funkčného priestoru pôdy. Pokiaľ berieme do úvahy celkovú, t. j. totálnu hĺbku pôdy, je táto hrúbkou sypkého zemitého materiálu až po pevnú horninu. V niektorých prípadoch to môže znamenať i niekoľko metrov hlboký priestor vyplnený materiálom, ktorý sa vytvoril počas zložitého pôdotvorného, resp. geologického vývoja (tieto dva procesy sa prelínajú), a ktorý je schopný podieľať sa na vodnom a živinovom režime pôdy.

Nepriepustná alebo málo priepustná vrstva pôdy (resp. jej sypkého substrátu) alebo kompaktné podložie môže spôsobiť obmedzenie distribúcie vody, smerujúce ku vzniku zvodnenej vrstvy, t. j. zónu saturácie (KIRKBY, 1978). Za vhodných okolností môže v sklonitých terénoch takýmto spôsobom vzniknúť tzv. svahová voda, ktorá je typom gravitačnej vody. Medzi pôdnym profilom a zvodneným horizontom prebieha výmena vody vplyvom režimu pôdnej vody a podzemnej, resp. svahovej vody, prostredníctvom takých javov, ako je preferované prúdenie či kapilárny zdvih. Intenzita a charakter tejto výmeny závisia od množstva a rozdelenia zrážok, priepustnosti pôdy, veľkosti retenčných a kapilárnych vlastností pôdy, teplotného režimu pôdy a hladiny podzemnej vody. GÉRARD a i. (2004) pri modelovaní vplyvu zvodnenej vrstvy svahoviny v hĺbke 3 m na vlhkosť lesnej pôdy zistili, že významnou mierou prispieva ku vzniku preferovaného prúdenia, ktorým bola vzápätí ďalej dotovaná, čím vznikla pozitívna spätná väzba. Práve vertikálny priesak pôdou a laterálny odtok sú rozhodujúce pre dotáciu svahových vôd (PICHLER, 2007). Závislosť rýchlosti kapilárneho zdvihu od zrnitosti zloženia pôdy popísal vo svojej práci RODE (1957).

Nedeštrukčné metódy merania hydrofyzikálnych vlastností

Ako uvádza COSENZA a i. (2006), problémom nepriamych metód zisťovania pôdných charakteristík je určenie presných priestorových rozhraní výskytu týchto fenoménov, resp. interpretácia komplexných nameraných veličín v zmysle zvolenej pôdnej vlastnosti. Tieto metódy totiž zväčša fungujú na princípe merania priepustnosti pórovitého prostredia pre určité typy žiarenia, resp. vlnenia. Z tohto dôvodu je potrebné pristúpiť buď na overovanie, resp. porovnávanie výsledkov získaných nepriamymi metódami pomocou priamych, zväčša deštruktívnych

metód, alebo použitie kombináciu viacerých nepriamych metód. Garambois a i. (2002) použil na zisťovanie obsahu vody v rôznych hĺbkach pórovitého prostredia usadených hornín tri geofyzikálne metódy: seizmickú refrakciu, GPR (Ground penetrating radar) a elektrickú rezistivnú tomografiu (odporové profilovanie). MICHOT a i. (2001) skúmali metódou rezistívnej tomografie (2-D metódou) v spojitosti s meraním pomocou TDR vysušenie pôdneho objemu odberom vody koreňmi poľnohospodárskych plodín a tiež pohyb vlhkostného frontu v súvislosti s preferovaným prúdením.

GREGOR (1991) po prvýkrát na Slovensku použil geoelektrickú metódu vertikálneho elektrického sondovania (VES) na meranie hĺbky pôdy.

MATERIÁL A METÓDY

Výskumná plocha Javorie leží na S svahu rovnomenného sopečného masívu v rámci lesných pozemkov, v časti medzi kótami Javorie a Homôlka v nadmorskej výške 920–960 m n. m (48° 26' 27" SZŠ, 19° 16' 18" VZD). Tieto lesy patria do LHC VLM Pliešovce. V rámci kategórie patria k lesom hospodárskym. Klimageograficky patrí lokalita do mierne chladného okrsku chladnej klimatickej oblasti s priemernou teplotou okolo 3,0°C a zrážkovým úhrnom 850 mm za rok. Pôdnym subtypom je kambizem andozemná s pôdnym profilom hlbokým 130 cm a s obsahom skeletu cca 30 %. Podľa morfogenetickej klasifikácie je tvorená troma horizontami – Aua-Bvn-C, t. j. umbrický horizont Aua – tmavosfarbený povrchový humusový, sorpčne nasýtený, kambický andický horizont Bvn s náznakmi andických vlastností (objemová hmotnosť $\leq 0,9 \text{ g.cm}^{-3}$ a obsah amorfných Fe, Al) a substrátový horizont C. Pôda sa vyvinula z cca 3–5 m hlbkej andezitovej svahoviny na rovnomernom svahu so sklonom do 25 % a SSZ expozíciou. V dôsledku andezitového podložia na lokalite prevláda živný rad B. Túto lokalitu radíme do 4. lvs, pričom prevládajúcou skupinou lesných typov je Fagetum typicum, teda živné bučiny.

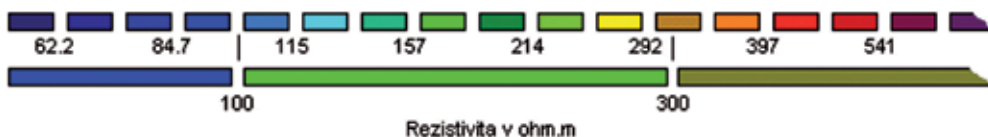
Meranie hĺbky pôdy a svahovín elektrickou rezistivnou tomografiou sa uskutočnilo dňa 3. októbra 2006 na popísanej lokalite Javorie, s použitím automatického geoelektrického systému ARES (GF Instruments, s. r. o., Brno). ERT determinuje podpovrchovú distribúciu rezistivity (merného elektrického odporu) pomocou meraní na pôdnom povrchu. Z týchto meraní môže byť následne odvodená pomocou inverzného softvéru pravá – skutočná rezistivita. Merný odpor pôdy závisí od mnohých faktorov, z ktorých najdôležitejšie sú: momentálna vlhkosť pôdy, zrnitosť (najmä skeletnatosť), pórovitosť, koncentrácia pôdneho roztoku, teplota, tlak atď. Merania pôdnej rezistivity sme spracovali formou rezov a následne sme ich interpretovali a kalibrovali z pohľadu výskytu zvolených fenoménov porovnaním s výsledkami z literatúry a z iných metód merania (TDR, terénne zisťovanie v pôdnych sondách). Do jednotlivých meraní bola samostatne vložaná topografia.

Zhodnotenie hydrofyzikálnych vlastností pôdy metódou elektrickej rezistívnej tomografie bolo uskutočnené ako súčasť výskumu, zameraného na objasnenie účinkov redukcie denzity bukových porastov na dynamiku vlhkosti lesných pôd a na premenlivosť charakteru prúdenia pôdnej vody a v nej rozpustených látok (PICHLER, 2007).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na obrázku 1 vidíme porovnanie pôvodnej RGB škály farebného zobrazenia rezistivity pôdy v logaritmickom vyjadrení a modifikovanú, nami vytvorenú novú škálu pôdneho odporu. Pôvodná škála, preddefinovaná v programe RES2DINV, je tvorená 16 odtieňmi, vytvorenými kombináciou troch základných farieb R (red) – červená, G (green) – zelená a B (blue) – modrá.

Obrázok 1 Ukážka zmeny rozsahu farebnej škály vyjadrujúcej elektrickú rezistivitu pôdy



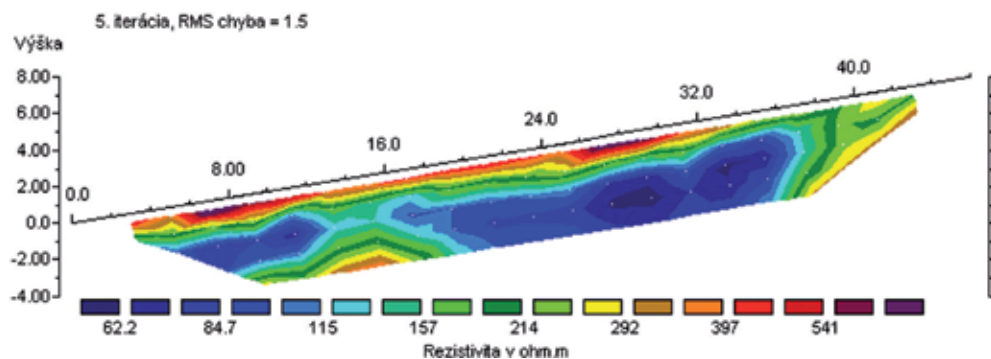
Nami zvolená a vytvorená nová škála pôdnej rezistivity má presne definované tri kategórie sledovanej veličiny. Do prvej kategórie, ktorú sme klasifikovali ako zvodnenú vrstvu svahoviny (modrá farba), sme zaradili materiál s hodnotou merného elektrického odporu od 10 do 100 $\Omega.m$. Tieto hodnoty sme určili na základe literatúry (LOKE, 2004), pričom prezencia zvodnenej vrstvy bola dokázaná terénnym výskumom vo vykopanej pôdnej sonde. Druhá kategória sa vzťahuje na rozsah rezistivity od 100 do 300 $\Omega.m$ a bola charakterizovaná ako kapilárna obruba svahovej vody (zelená farba). Určili sme ju empiricky, na základe meraní vlhkosti metódou TDR na týchto výskumných plochách v poslednej tretine vegetačného obdobia, podľa práce PICHLERA (2007). V hĺbke 80–90 cm bola zistená zvýšená objemová vlhkosť pôdy, spôsobená kapilárnym zdvihom. Tretiu kategóriu, t. j. zónu so zvýšeným obsahom skeletu, sme zaradili v rezistívnej škále do oblasti merného odporu nad 300 $\Omega.m$ (žltá farba).

Pri prieskume fyzikálnych vlastností pôdy môžeme prostredníctvom využitia nedeštruktívnych metód získať širší rámcový pohľad na skúmané javy, ktorý môže byť nápomocný aj pri precíznom hospodárení. V našom prípade prispela k objasneniu zvýšenia zásoby pôdnej vody v období, ktorému nepredchádzali významnejšie zrážky (PICHLER, 2007) geofyzikálna metóda ERT. Tento jav bol spôsobený nárastom objemovej vlhkosti v spodnej časti pôdneho profilu, kam vystúpila kapilárna obruba zvodnenej vrstvy svahoviny. Pre kapilárny zdvih bola v tomto prípade odvodená rýchlosť asi $0,11 \text{ cm h}^{-1}$, takže obruba dosiahla pôdnu hĺbku 100 cm od hladiny zvodnenej vrstvy v hĺbke 180 cm za zhruba 30 dní, čo korešpondovalo s výpočtami Lu a LIKOSA (2004) pre rovnaký pôdny druh. Táto skutočnosť mohla prispieť k prírastku podúrovňových bukov v poraste s plným zakmenením v období, kedy ostatné zložky porastu už prírastok zvyčajne nevykazujú (tzv. kompenzačné procesy), (STŘELCOVÁ, MINDÁŠ, 2000), a tiež k zvýšeniu retenčnej kapacity pôdy.

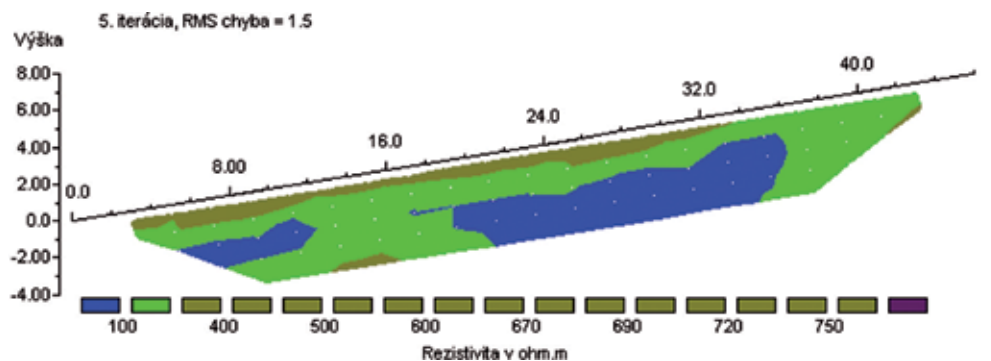
Zaujímavým poznatkom, ktorý možno pozorovať na obrázku 2 resp. 3, je oblasť zvýšeného merného elektrického odporu v ľavej spodnej časti profilu. Keďže naše meranie bolo limitované maximálnym hĺbkovým dosahom prístroja, nemohli sme z nameraných údajov interpretovať rozhranie svahoviny a podložnej kompaktnéj horniny. Práve táto oblasť zvýšeného merného elektrického odporu, o ktorej možno podľa tendencie jej rastu predpokladať, že sa bude s hĺbkou zvyšovať, nám môže indikovať vystupujúcu podložnú kompaktnú horninu,

t. j. oblasť s vysokým merným elektrickým odporom pôdy. Vzhľadom k tomu, že v spodnej časti profilov sa vo väčšine prípadov nachádza oblasť s nízkym merným odporom zeminy, ktorú sme interpretovali ako zvodnenú vrstvu svahoviny, resp. jej kapilárnu obrubu, usudzujeme na prítomnosť sypkého materiálu svahovinových súvrství v celej škále rozsahu našich meraní. Jasnejšie rozhranie je možné určiť jedine pre tzv. krycie súvrstvie svahovín, ktoré sme zistili v hornej časti profilov, interpretáciou oblasti so zvýšeným merným odporom pôdy na rezistivných rezoch a tiež terénnou obhliadkou – na zvolených tranzektoch sme pozorovali výskyt elipsoidných útvarov a zhlukov skeletu v povrchových častiach a tesne pod povrchom, t. j. elektrický odpor nám v tomto prípade indikuje zmenené zrnitosťné zloženie pôdy. Rozhranie pôdy a podložnej sypkej materskej horniny nebolo z nameraných údajov interpretovateľné, pretože pôdna voda pôsobí v tomto prípade ako homogenizačný faktor na objekt merania, t. j. na merný odpor pôdy a príľahlej svahoviny. S vysokou pravdepodobnosťou však možno predpokladať, že celková, t. j. totálna hrúbka pôdneho a svahovinového krytu je na danom stanovišti minimálne 4,5 m a viac, pričom treba zdôrazniť, že na plnení regulačných funkcií pôd sa v tomto prípade podieľa celý pôdno-zvetralinový plášť.

Obrázok 2. Ukážka rezistivného rezu pôdou. Pôvodná škála zobrazenia elektrickej rezistivity pôdy



Obrázok 3: Ukážka rezistivného rezu pôdou v preškálovanom zobrazení pôdnej rezistivity



Širší pohľad na pôdne prostredie nám pomáha pri odkrývaní súvislostí napr. medzi zásobami pôdnej vody a faktormi prostredia akými sú hĺbka pôdy či geomorfologické charakteristi-

ky stanovišťa – dĺžka svahu, relatívna poloha na svahu, tvar reliéfu, expozícia, sklon, atď. (CATANI A I., 2006). WHIPKEY A KIRKBY (1978) uvádzajú, že výška zvodnenej vrstvy na svahu rastie v smere po spádnicí nadol. V našom prípade bola vzdialenosť meraných profilov od temena svahu cca 200–300 m, pričom zásoba svahovej vody bola dostatočne veľká na to, aby ovplyvňovala vodný režim pôdy; poloha na svahu môže byť teda dôležitým poznatkom z hľadiska pôdnej hydrológie. Podobne, čo sa týka nadmorskej výšky, pôdy vo vyšších polohách sú v mnohých prípadoch hlbšie ako nižšie položené pôdy, pretože sú tu hlbšie aj vrstvy svahovín. Najmohutnejšie vrstvy svahovín nachádzame v nadmorských výškach 700–1300 m n. m., smerom nadol i nahor hĺbka klesá. Toto je nesporne dôležité aj v hydrológií územia, lebo zeminy vyšších polôh fungujú vo vodnej bilancii územia ako zásobárne vody. Pri väčšej hrúbke zemín sa uplatňuje ich väčšia vododržná kapacita (ŠÁLY, 1986). Z pohľadu expozície nachádzame v horských polohách hlbšie pôdy na severných svahoch, pretože v období pleistocénu tieto pôdy v dôsledku chladu menej rozmrzali, a teda sa aj menej soliflukčne posúvali. V našom prípade môže byť veľká hrúbka svahovín dôkazom vyššie uvedených skutočností: lokalita sa nachádza na severnom svahu v nadmorskej výške 920–960 m n. m.

ZÁVER

Využitie geofyzikálnej metódy elektrickej rezistívnej tomografie v pôdno-hydrologickom prieskume nám – za predpokladu adekvátnej interpretácie nameraných údajov – upravuje merítko skúmaných hydrických procesov, resp. umožňuje vnímať pôdu v kontexte stanovištných charakteristík. Prispieva k objasneniu vzťahov medzi príjmovými a výdajovými zložkami vodnej bilancie pôdy a jej materského substrátu, a tým tvorí predpoklady aj pre skúmanie súvisiaceho živinového režimu. So vzrastajúcou vlhkosťou pôdy a svahoviny sa znižuje merný elektrický odpor tohto prostredia, resp. zvyšuje sa jeho elektrická vodivosť. Tento predpoklad možno využiť na identifikáciu, a následne i kvantifikáciu takých fenoménov, akými sú zvodnená vrstva svahoviny a jej kapilárna obruba. Pôdna voda homogenizuje systém pôda–svahovina, teda „zmýva“ rezistívne rozhrania jednotlivých morfo-genetických horizontov a súvrství svahovín (hlavného a bazálneho). Na druhej strane nám však súčasne dokazuje úzku prepojenosť, resp. integritu skúmaného prostredia z pohľadu plnenia funkcií našich pôd. Metóda ERT nám teda uľahčuje skúmanie priestoru, ktorý by bol za iných okolností dosiahnuteľný len prácnyimi deštruktívnymi metódami.

LITERATÚRA

- BOER, M. – DEL BARRIO, G. – PUIGDEFÁBRES, J. 1996. *Mapping soil depth classes in dry Mediterranean areas using terrain attributes derived from a digital elevation model*. Geoderma, Vol.72, 1996, p. 99–118.
- CATANI, F. – SEGONI, S. – FALORNI, G. 2006. *A soil depth prediction scheme or geomorphologic and hydrologic distributed modeling*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 2006, 09405.
- COSENZA, P. – MARMET, E. – REJIBA, F. – CUI, Y. J. – TABBAGH, A. – CHARLERY, Y. 2006. *Correlations between geotechnical and electrical data: A case study at Garchy in France*. Journal of Applied Geophysics, Vol. 60, 2006, Abstract
- GARAMBOIS, S. – SÉNÉCHAL, P. – PERROUD, H. 2002. *On the use of combined geophysical methods to assess water content and water conductivity of near-surface formations*. J. of Hydrology, Vol. 259, 2002, p. 32–48.

- GÉRARD F. – TINSLEY M. – MAYER K. U. 2004. *Preferential flow revealed by hydrologic modeling based on predicted hydraulic properties*. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 68, 2004, 1526-1538.
- GREGOR, J. 1991. *Vlhkosť pôdy v bučine v závislosti od reliéfu a zakmenenia: Kandidátska dizertačná práca*, Zvolen: TU, 1991, 104 s.
- KIRKBY, M.J. 1978. *Hillslope hydrology*. Chichester: John Wiley & Sons, 1978, 389 p. ISBN: 978-0-471-99510-4
- LOKE, M. H. 2004. *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys [online]*. 2004, 128 p. Dostupné na internete: <www.geoelectrical.com>
- LU, N. – LIKOS, W.J. 2004. *Rate of capillary rise in soil*. J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 130, 2004, p. 646–650.
- PICHLER, V. 2007. *Denzita bukových porastov ako nástroj regulácie hydrických a environmentálnych funkcií pôd*. Zvolen: TU, 2007, 50 s.
- RODE, A.A. 1957. *Pôdna voda*. Bratislava: Vydavateľstvo SAV, 1957, 512 s.
- STERNBERG, P.D. – ANDERSON, M.A. – GRAHAM, R.C.- BEYERS, J.L.– TICE, K.R. 1996. *Root distribution and seasonal water status in weathered granitic bedrock under chaparral*. Geoderma, Vol. 72, 1996, p. 89–98.
- ŠÁLY, R. 1986. *Svahoviny a pôdy Západných Karpát*. Bratislava: Vyd. VEDA, 1986, 200 s.
- ŠÁLY, R. 1988. *Pedológia a mikrobiológia*. Zvolen: Edičné stredisko VŠLD, 1988, 378 s.
- ŠTRELCOVÁ, K. – MINDÁS, J. 2000. *Transpirácia buka lesného vo vzťahu k meniacim sa podmienkam prostredia*. Vedecké štúdie 11/2000/A, Zvolen: TU, 2000, 82 s.
-

REGRESNÉ MODELY DETAILNEJ PRIESTOROVEJ VARIABILITY ÚRODY PŠENICE OZIMNEJ V ROKU 2005

REGRESSION MODELS OF WITHIN-FIELD SPATIAL VARIABILITY RELATED TO WINTER WHEAT YIELD IN 2005

Martina NOVÁKOVÁ¹, Ján HALAS², Peter SCHOLTZ³

¹ Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 821 73, Bratislava, e-mail: m. novakova@vupop.sk

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

³ Kybernetika, s.r.o., Košice

ABSTRACT

Theoretical principle of Precision Farming (PF) resides in application of complex and local variable approach to various agriculture activities supported with relevant scientific knowledge and information technologies. The idea of spatially variable farming is based on simple fact - existence of within-field variability related to soil and landscape properties (with respect to crop yield and soil production). The objectives of this study were i) on example of model parcel Žihárec 0001/1 to investigate the spatial relations in agro-ecosystem defined with relief – atmosphere – soil – crop, ii) to define and describe structure of agro-ecosystem spatial relations on the base of different methods application; iii) to describe structure of agro-ecosystem functional relations as a results of multiply regression applied on models of agro-ecosystem spatial structure and iv) to test and compare the reliability and accuracy of created models which represent within-field spatial variability related to winter wheat yield.

The results of comparative analyses indicated high potential of grid (with detail spatial resolution) utilization in agro-ecosystem analyses oriented the spatial and functional relations to be investigated and represented. Also the fact of dependence of models accuracy on input data selection (the selection conditions) was confirmed with comparative analyzes results. However, regression models of agro-ecosystem functional structure are valid only in strictly defined conditions.

Keywords: agro-ecosystem, model of spatial structure, model of functional structure, regression model, within-field variability, winter wheat, crop yield

ABSTRAKT

Poznanie detailnej priestorovej variability pôdnych vlastností a zároveň, priestorových a funkčných vzťahov integrovaných vo vnútri poľnohospodársky využívaného pozemku v úzkej spojitosti s variabilitou produkcie je nevyhnutným východiskom a predpokladom pre návrh, ako aj samotnú aplikáciu technológií presného (priestorovo variabilného) poľnohospodár-

stva. Príspevok prezentuje výsledky účelovej analýzy údajov z modelového pozemku Žihárec 0001/1 s porastom pšenice ozimnej v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005, pričom pozornosť je venovaná detailnej priestorovej variabilite vybraných vlastností pôdy a krajiny v definovanom agroekosystéme (systém reliéf – atmosféra – pôda – rastlina), vyjadreniu priestorových a v nadväznosti aj funkčných vzťahov v rámci agroekosystému, ktorých odrazom je priestorová variabilita úrody pšenice ozimnej. Priestorová štruktúra bola vyjadrená prostredníctvom viacerých alternatív atribútových tabuliek georeferencovaných súborov (model priestorovej štruktúry) na základe spracovaných a priestorovo reprezentovaných (interpolovaných) údajov. Funkčná štruktúra bola vyjadrená prostredníctvom metódy viacnásobnej regresie pre všetky definované modely priestorovej štruktúry. Získané regresné rovnice boli spätne aplikované na modeloch priestorovej štruktúry a získané modely priestorovej variability úrody pšenice ozimnej boli porovnávané z hľadiska ich spoľahlivosti (koeficient viacnásobnej regresie, koeficient determinácie) a z hľadiska ich presnosti (priemerná chyba modelu). Výsledky porovnávacej analýzy indikujú potenciál využívania gridových sietí (s detailným priestorovým rozlíšením) pri tvorbe ako modelu priestorovej, tak aj funkčnej štruktúry modelového pozemku. Zároveň potvrdili fakt, že presnosť modelov funkčnej štruktúry je závislá predovšetkým na výbere údajov pre model, pričom regresné modely funkčnej štruktúry agroekosystému sú platné vždy len pre stanovené podmienky poľnohospodárskej sezóny.

Kľúčové slová: agroekosystém, model priestorovej štruktúry, model funkčnej štruktúry, regresný model, detailná priestorová variabilita, pšenica ozimná

ÚVOD

Charakter, zameranie a intenzita poľnohospodárskej činnosti v krajine sa vyznačuje výrazným regionálnym charakterom. Relevantné vlastnosti krajiny predovšetkým vo vzťahu k rastlinnej výrobe, resp. ich priestorová variabilita, predstavuje základné východisko a širší rámec pre výber a následne aplikovanie optimálnych, a zároveň vylúčenie nevhodných poľnohospodárskych technológií.

Na základe prístupu k manažmentu poľnohospodárskej výroby (resp. k aplikácii konkrétnych poľnohospodárskych technológií) možno uvažovať o dvoch základných „smeroch“: a) rozšíreného tradičného poľnohospodárstva, ktoré vychádza z predpokladu homogenity pôdných vlastností a produkčnej schopnosti pôdy v rámci jednotlivých parciel poľnohospodárskej pôd, pričom uvažovaná homogenita sa odráža v aplikovaní jednotných (uniformných) technologických postupov a b) systému presného poľnohospodárstva, ktorého predpokladom je existencia detailnej priestorovej (vnútrohrovej) variability pôdných vlastností a produkčnej schopnosti pôdy v rámci jednotlivých parciel poľnohospodárskej pôd a ktoré spočíva v aplikácii priestorovo variabilného prístupu k hospodáreniu na pôde (u nás SCHOLTZ A I., 2006; SVIČEK, NOVÁKOVÁ, 2006; HALAS A I., 2007; HALAS A I. 2008).

Naplnenie podstaty aplikácie priestorovo variabilného hospodárenia na pôde – podpora ekologického a súčasne ekonomického prínosu, kladie požiadavku na zabezpečenie podrob-

ných, priestorovo detailných údajov o pozemku, na ktorom sa hospodári. Poznanie detailnej priestorovej variability a priestorových vzťahov (priestorová štruktúra v zmysle prác KRCHO, 1974; KRCHO, 1990) a na ich základe analýza a prešetrenie variability funkčných vzťahov (funkčná štruktúra v zmysle prác KRCHO, 1974; KRCHO, 1990) v rámci pozemku sú predpokladom pre návrh, ako aj samotnú aplikáciu priestorovo variabilných technológií v poľnohospodárskej praxi.

Cieľom predkladaného príspevku bolo na príklade modelového pozemku Žihárec 0001/1 (podľa registra poľnohospodárskych pôd LPIS) v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005 s porastom pšenice ozimnej a) vo forme atribútovej tabuľky georeferencovaného súboru vyjadriť detailnú priestorovú štruktúru modelového pozemku a otestovať viaceré alternatívy jej tvorby, b) aplikáciou metódy viacnásobnej regresie vytvoriť jednoduché štatistické empirické modely priestorovej variability úrody pšenice ozimnej (regresné rovnice reprezentujú funkčnú štruktúru) a c) otestovať presnosť vytvorených modelov v závislosti na zvolenej metóde spracovania atribútových tabuliek a metóde definovania vstupných premenných pre model.

Načrtnutá problematika je riešená v rámci kontraktu medzi Výskumným ústavom pôdozvedectva a ochrany pôdy (VÚPOP) a Ministerstvom pôdohospodárstva SR s názvom: *Modelovanie a aplikácia precízneho poľnohospodárstva na základe detailných geoinformácií (údaje GIS – o pôde, DPZ a terénnych meraní)*.

MATERIÁL A METÓDY

Prístup k štúdiu krajiny

Model predstavuje zjednodušený obraz reálne existujúceho objektu, prípadne jeho fungovania a správania sa v priestore a čase. Modelovanie je pojem, ktorý zahŕňa všetky aktivity spojené so samotnou tvorbou modelu (MITÁŠOVÁ A I. 1990) ako aj aktivity spojené s následnou aplikáciou modelu s cieľom získania definovaných účelových vlastností o reálne existujúcom objekte, reprezentovanom modelom.

Modelovanie ako také predstavuje metódu štúdia (analýzy) reálneho objektu, pričom základný princíp modelovania spočíva v *aplikácii teórie systémov* na krajinu (KRCHO, 1974; KRCHO, 1990). Umožňuje vnímať, definovať, formálne a v následnosti aj reálne vyjadriť študovaný systém ako systém dvoch tematicky samostatných, reálne však neoddeliteľných štruktúr, a to *priestorovej štruktúry* a *funkčnej štruktúry*.

Priestorová štruktúra zodpovedá opisu systému, ktorý je tvorený definovanými prvkami, pričom vyjadrená je prostredníctvom priestorových údajov o vybraných prvkoch systému tematicky usporiadaných a reprezentovaných prostredníctvom geografickej databázy (prípadne atribútovou tabuľkou georeferencovaného súboru). *Funkčná štruktúra* zodpovedá vyjadreniu časovo-priestorových vzťahov v študovanom systéme, t.j. vyjadreniu poznatkov o zákonitostiach vývoja a dynamiky prvkov systému alebo systému ako celku. Vyjadrená môže byť prostredníctvom matematických alebo štatistických rovníc, ktoré reprezentujú (nahradzajú) reálne procesy prebiehajúce v študovanom systéme. Reprezentovaná môže byť danou rovnicou, prípadne systémom rovníc v podobe *softvérovej aplikácie* (SKALSKÝ A I., 2007; NOVÁKOVÁ, SKALSKÝ, 2007).

Definícia modelu a modelový pozemok

Reálnym objektom príkladovej štúdie je poľnohospodárska krajina, resp. výrez z nej, t.j. konkrétny pozemok poľnohospodársky využívanej pôdy Žihárec 0001/1 s výmerou 131,2 ha (podľa evidencie registra poľnohospodárskych pôd LPIS, Obr. 1). *Modelový pozemok Žihárec 0001/1* je zjednodušene vnímaná a formálne vyjadrená ako agroekosystém definovaný prvkami reliéf – atmosféra – pôda – rastlina. Model priestorovej štruktúry modelového pozemku môže byť vyjadrený prostredníctvom atribútovvej tabuľky georeferencovaného súboru (vo formáte *ESRI Shape*) s priestorovými údajmi o definovaných prvkoch (experimentálne údaje získané terénnym meraním, laboratórnymi analýzami, metódami DPZ, a pod.); model funkčnej štruktúry modelového pozemku nie je vyjadrený, ale definovaný môže byť, a to prostredníctvom viacnásobnej regresnej analýzy (predmet príkladovej štúdie).

Modelový pozemok je lokalizovaný v jednej z našich najproduktívnejších poľnohospodárskych oblastí 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 širšieho územia (prevládajúcim pôdnym typom sú fluvizeme a čiernice) je poloha modelového pozemku na fluvialnom reliéfe Váhu. Územie s pozemkom leží prakticky na rovine, avšak lokálne má značne diferencovaný mikroreliéf (výškové rozdiely pozemku predstavujú 1 až 3 m). Na modelovom pozemku hospodári poľnohospodársky subjekt Agrodivízia Selice, s.r.o.

Obrázok 1 Lokalizácia modelového pozemku Žihárec 0001/1 (podľa evidencie LPIS)



Vstupné údaje

Vybrané priestorové údaje relevantné z hľadiska definovaného agroekosystému (modelový pozemok) boli merané a poskytnuté poľnohospodárskym subjektom Agrodívizia Selice, s.r.o. Ide o:

- údaje o úrode pšenice ozimnej, ktoré boli kontinuálne zaznamenávané mapovacím zariadením (úrodový senzor, GPS) nainštalovaným na kombajnoch počas zberu v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005;
- údaje o obsahu rastlinám prijateľných živín (P, K, Mg, Ca) a pH, pričom pôdne vzorky pre ich stanovenie boli odobraté v hĺbke 0 - 0,30m; hustota sondáže bola 1 priemerná vzorka (zložená z 30 čiastkových vpichov) na 5,96 ha; odber bol realizovaný hydraulickým vzorkovačom pripojeným za traktorom;
- údaje o elektrickej vodivosti pôdy (EC), namerané koncom vegetačnej sezóny v roku 2004 v hĺbke 0,30m a 0,90m systémom VERIS.

Ďalšie priestorové údaje, reprezentujúce modelový pozemok, boli merané a spracované v rámci činností VÚPOP:

- zrnitosť pôdy, resp. obsah jednotlivých zrnitostných frakcií (F1 = častice s veľkosťou 0,25–2,0 mm, F2= 0,25–0,05 mm, F3 = 0,05–0,01 mm, F4 = 0,01–0,001 mm, F5 - <0,001 mm) bola stanovená v dvoch hĺbkových horizontoch (H1 zodpovedá hĺbke 0,05 až 0,15 m a H2 hĺbke 0,35 až 0,45 m) v 86 odberových miestach definovaných na základe vyčlenených zón elektrickej vodivosti pôdy;
- mechanický odpor pôdy bol meraný v rovnakej sieti s 10-násobným opakovaním (penetrologger firmy Eijkelkamp) do hĺbky 0,60 m s digitálnou registráciou odporu v 1 cm krokoch; namerané hodnoty odporu pôdy boli následne korigované na štandardnú vlhkosť;
- vlhkosť pôdy v hĺbke 0,05–0,15 m, 0,20–0,30 m, 0,35–0,45 m a 0,50–0,60 m bola stanovená gravimetricky; vzorky boli odobraté z 86 odberových miest (v rovnakej sieti ako zrnitosť pôdy a mechanický odpor pôdy), čo predstavuje hustotu sondáže 1 vzorka na 1,52 ha;
- obsah organického uhlíka v pôde (Cox) v hĺbke 0-0,2 m bol stanovený v 89 definovaných odberových miestach v pravidelnej trojuholníkovej sieti so stranou 130 m, čo predstavuje hustotu sondáže 1 vzorka na 1,47 ha.

Laboratórne analýzy odobratých vzoriek pôdy boli vykonané podľa platných metodík VÚPOP. Pri všetkých odberových miestach bola zameraná ich presná lokalizácia (GPS – Omnistar, so sub-metrovou presnosťou). K dispozícii bol aj digitálny model reliéfu (DTM), na základe ktorého boli odvodené vybrané morfometrické parametre (sklon, spádníková a normálová krivosť – KR_S a KR_H, celková krivosť – KR_C, topografický vlhkosťný index - TWI), a to prostredníctvom nástrojov DEMAT pre ArcGIS™ (BEHRENS, 2000) a TOPOCROP pre ArcGIS™ (SCHMIDT, 2002). Zároveň boli k dispozícii aj satelitné obrazové záznamy zaznamenané satelitnými systémami Landsat a SPOT (s priestorovým rozlíšením 5 m a 10 m) z viacerých časových horizontov

(k 02. 4. 2005, 20. 5. 2005 a k 17. 6. 2005) a prostredníctvom nich interpretované vegetačné indexy (NDVI).

Všetky experimentálne namerané a laboratórne stanovené údaje (s bodovou priestorovou reprezentáciou) boli následne spracované prostredníctvom štatistických a geoštatistických metód (základná štatistika, metódy priestorovej interpolácie – metódy spline, kriging) a priestorovo reprezentované interpolovanými povrchmi v prostredí Geostatistical Analyst™ (JOHNSTON A I., 2001).

Modely priestorovej štruktúry

Pre objasnenie funkčných vzťahov v rámci modelového pozemku a vytvorenie modelu priestorovej variability úrody pšenice ozimnej bolo vytvorených niekoľko alternatívnych atribútových tabuliek georeferencovaných súborov:

1. skupina atribútových tabuliek vytvorených pre priestorové elementy s rozdielnou priestorovou reprezentáciou (bod – gridová sieť), ktorým boli priradené údaje o všetkých sledovaných vlastnostiach pôdy a krajiny: a) atribútová tabuľka vytvorená vo všetkých priestorovo lokalizovaných bodoch merania úrody (celkovo 70 027 bodov; model 1); b) atribútová tabuľka vytvorená pre elementy gridovej siete s priestorovým rozlíšením 5 m (celkovo 53 127 buniek gridovej siete; model 2); c) atribútová tabuľka vytvorená v bodoch odberu pôdnych vzoriek pre stanovenie obsahu jednotlivých zrnitostných frakcií (celkovo 86 bodov; model 3);
2. skupina atribútových tabuliek vytvorených pre priestorové elementy gridovej siete s priestorovým rozlíšením 5x5m pri definovaní rôznych kombinácií vstupných premenných: a) na základe kritéria relatívnej dostupnosti údajov o sledovaných vlastnostiach pôdy a krajiny (model A: DTM a NDVI z 3 termínov; model B: DTM, NDVI, EC; model C: DTM, NDVI, EC + vlhkosť pôdy); b) na základe kritéria charakteru nezávislej premennej: (model D: DTM, statické pôdne vlastnosti – obsah jednotlivých zrnitostných frakcií, obsah živín - P, Ca, Mg a K, obsah CO_x, pH; model E: DTM, statické pôdne vlastnosti - obsah jednotlivých zrnitostných frakcií, obsah živín – P, Ca, Mg a K, obsah CO_x, pH; dynamické pôdne vlastnosti – EC, vlhkosť pôdy, mechanický odpor pôdy); c) na základe dosiahnutej miery korelácie medzi sledovanou vlastnosťou a dosiahnutou úrodou (model F: všetky premenné s korelačným koeficientom nad 0,25 a menej ako -0,25 (vlhkosť pôdy, DTM, NDVI zo 17. 6. 2005 a 20. 5. 2005, obsah zrnitostnej frakcie F2H1, F2H2, F5H2 a EC90);
3. skupina atribútových tabuliek vytvorených elementmi gridovej siete s priestorovým rozlíšením 5x5 m, 10x10 m, 20x20 m, 30x30 m.

Pri príprave atribútových tabuliek georeferencovaných súborov reprezentujúcich jednotlivé modely priestorovej štruktúry boli aplikované metódy priestorovej analýzy (v prostredí Spatial Analyst™; McCoy, JOHNSTON, 2001), konkrétne metódy zonálnej štatistiky. Ako východisko pre definovanie modelu F bola realizovaná korelačná analýza v atribútovej tabuľke georeferencovaného súboru modelu 2 (v prostredí softvéru STATISTICA; STATSOFT, INC. 2001).

Modely funkčnej štruktúry

Pri analýze a definovaní modelu funkčnej štruktúry modelového pozemku bola aplikovaná metóda viacnásobnej regresie, pričom ako závislá premenná bola uvažovaná úroda pšenice ozimnej v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005 (neštandardizovaná) a ako nezávislé premenné boli uvažované vstupné premenné definované pre každý model samostatne (vybrané vlastnosti pôdy a krajiny).

Porovnávacia analýza

Získané regresné rovnice (ako regresné modely funkčnej štruktúry) boli spätne aplikované pre všetky definované modely priestorovej štruktúry (atribútové tabuľky georeferencovaných súborov), pričom výstupom sú vizualizované regresné modely detailnej priestorovej variability úrody pšenice ozimnej. Pri každom regresnom modeli bol stanovený korelačný koeficient viacnásobnej regresie, koeficient determinácie (zodpovedá percentuálnemu vyjadreniu vysvetlenia variability úrody vstupnými premennými) a presnosť modelu (priemerná chyba modelu, ktorá zodpovedá rozdielu medzi reálnou a modelovanou úrodou pšenice ozimnej).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Korelačná analýza – náčrt funkčnej štruktúry

Rok 2005 (poľnohospodárska sezóna 2004/2005) bol charakterizovaný normálnym úhrnom zrážok so suchšími podmienkami najmä v priebehu jari a začiatku leta. V rámci modelového pozemku boli zaznamenané významné vzťahy (výsledky korelačnej analýzy - vzťah úroda a sledovaná premenná, tab.1) medzi dosiahnutou úrodou pšenice ozimnej a vegetačným indexom NDVI interpretovaným zo satelitného obrazového záznamu z 17. 6. 2005 (korelačný koeficient 0,70); medzi dosiahnutou úrodou pšenice ozimnej a elektrickou vodivosťou pôdy meranou v hĺbke 0,90 m (korelačný koeficient 0,63); medzi dosiahnutou úrodou pšenice ozimnej a vlhkosťou pôdy meranou vo všetkých sledovaných hĺbkach (október 2005, korelačný koeficient 0,37 až 0,46). Vzťahy medzi ostatnými sledovanými vlastnosťami pôdy a krajiny boli tiež signifikantné, avšak miera ich korelácie bola výrazne nižšia (Tab.1).

Tabuľka 1 Výsledky korelačnej analýzy pre model 2

premenná	koef. korelácie	premenná	koef. korelácie	premenná	koef. korelácie	premenná	koef. korelácie
Vlh_15	0,38	MG	0,23	F2H1	-0,25	OD_10	0,08
Vlh_30	0,46	P	0,12	F2H2	-0,18	OD_15	-0,08
Vlh_45	0,37	COX	0,19	F3H1	-0,1	OD_20	0,03
Vlh_60	0,43	PH	-0,18	F3H2	-0,12	OD_25	0,06
DTM	-0,40	EC_30	0,16	F4H1	0,2	OD_30	-0,01
KR_C	-0,03	EC_90	0,63	F4H2	0,23	OD_35	-0,14
KR_H	-0,02	NDVI_0506	0,70	F5H1	0,38	OD_40	-0,13
KR_S	0,03	NDVI_0505	0,26	F5H2	0,32	OD_45	-0,18
SKLON	-0,12	NDVI_0504	0,16	F1H1	-0,13	OD_50	-0,02
TWI	0,12	F1H1	-0,13	F1H2	-0,1	OD_55	-0,13
CA	-0,17	F1H2	-0,1	OD_5	-0,12	OD_60	-0,18
K	0,10						

Regresné modely priestorovej variability úrody pšenice ozimnej v sezóne 2004/2005: 1. skupina modelov

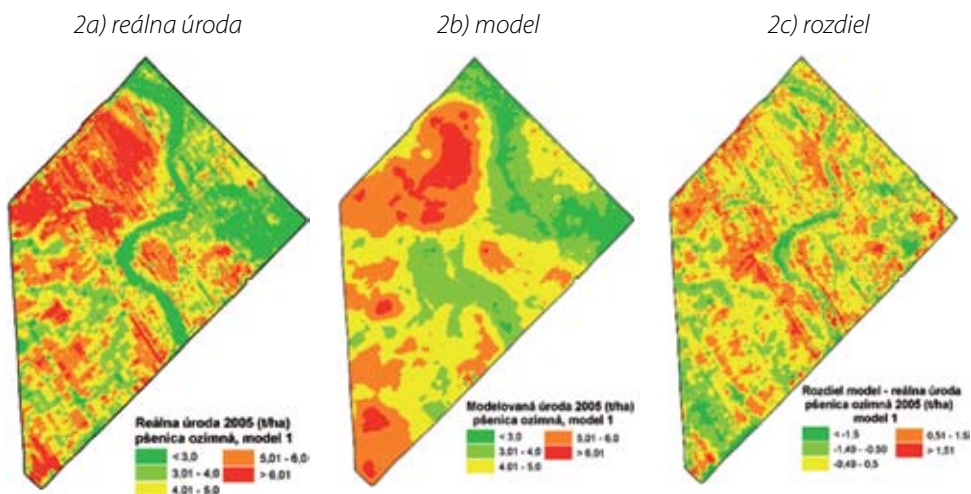
Na základe štatistického vyhodnotenia regresných modelov priestorovej variability úrody pšenice ozimnej v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005, vytvorených na základe atribútových tabuliek georeferencovaných súborov definovaných pre priestorové elementy s rozdielnou priestorovou reprezentáciou (model 1 až 3) možno konštatovať, že najvyšší koeficient viacnásobnej korelácie, ako aj koeficient determinácie bol zaznamenaný pri modeli 3 (Obr. 4, Tab. 2). Regresný model 3 svojimi vstupnými premennými vysvetľuje najvyššie percento variability úrody pšenice ozimnej (až 82,11%), pričom zaznamenaná priemerná chyba modelu je tiež pomerne nízka (0,913 t/ha), avšak nie je najnižšia. Koeficient determinácie a koeficient viacnásobnej korelácie, ako aj priemerná chyba modelu je však odvodená a platí len pre 86 „vstupných bodov“ viacnásobnej regresie. Zároveň aj vizuálne porovnanie interpretovaného modelu s východiskovou reálnou úrodou pšenice ozimnej poukazuje na ich výrazný rozdiel. Výrazná generalizácia modelu je zapríčinená aplikovanou interpoláciou pri plošnej reprezentácii modelu priestorovej variability úrody pšenice ozimnej z relatívne malého množstva vstupných údajov (86), pričom pri interpolácii sa zároveň zvyšuje priemerná chyba (resp. odchýlka) modelu úrody.

Tabuľka 2 Štatistické hodnotenie vytvorených regresných modelov úrody pšenice ozimnej na pozemku Žihárec 0001/1 v roku 2005

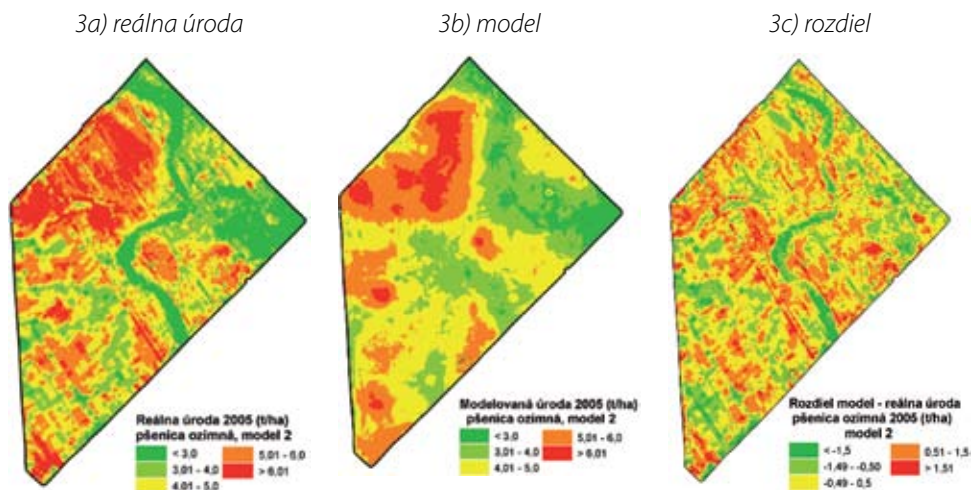
model	koef. viacnásobnej korelácie	koef. determinácie	priemerná chyba modelu (t/ha)
1	0,672	0,452	1,133
2	0,845	0,714	0,741
3	0,906	0,821	0,913

Priaznivé hodnoty sledovaných štatistických parametrov (korelačný koeficient viacnásobnej regresie a koeficient determinácie) a zároveň najvyššia presnosť regresného modelu boli dosiahnuté pri hodnotení modelu 2, ktorého atribútová tabuľka vznikla zonálnou štatistikou v rámci gridovej siete s priestorovým rozlíšením 5x5 (model 2, Tab.2). Zároveň je potrebné poukázať aj na výraznú vizuálnu podobnosť (mieru zhody) medzi modelom 2 a východiskovou reálnou úrodou pšenice ozimnej (Obr. 3). Veľkú úlohu pri tejto zhode zohráva fakt, že modelované úrody sú priamo vizualizované prostredníctvom gridovej siete, bez potreby interpolácie, pri ktorej dochádza k opakovanému zaťaženiu modelu ďalšou chybou. Preto táto metóda tvorby atribútovej tabuľky ako východiska modelu je považovaná za vyhovujúcu z hľadiska tvorby regresných modelov.

Obrázok 2 Model 1: Reálna úroda pšenice ozimnej v roku 2005, interpolovaná na základe údajov automaticky zaznamenaných pri zbere (2a), modelovaná úroda (2b) a rozdiel medzi reálnou a modelovanou úrodou (2c)

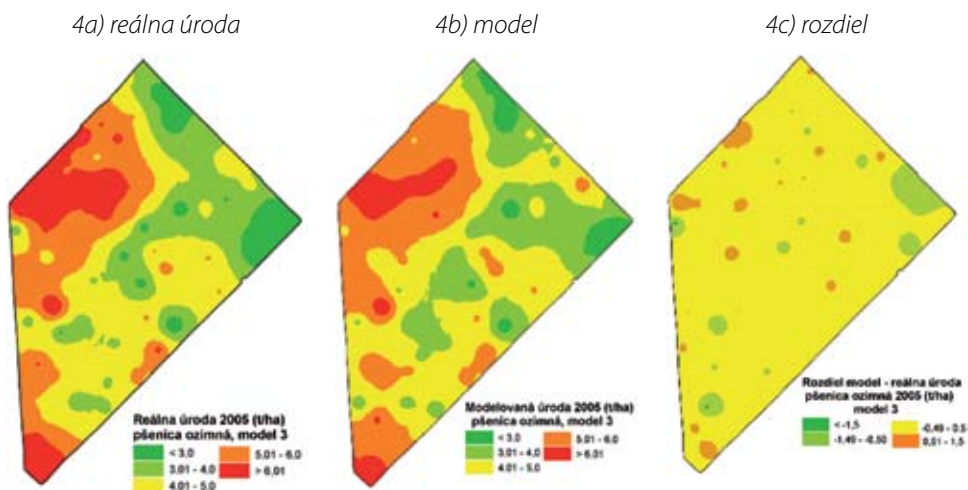


Obrázok 3 Model 2: Reálna úroda pšenice ozimnej v roku 2005 spracovaná prostredníctvom gridovej siete 5x5 m (3a), modelovaná úroda (3b) a rozdiel medzi reálnou a modelovanou úrodou (3c)



Vizuálna podobnosť medzi modelom a východiskovou reálnou úrodou pšenice ozimnej bola zaznamenaná aj pri modeli 1 (Obr. 2), pričom však táto „zhoda“ nie je potvrdená štatisticky (Tab. 2).

Obrázok 4 Model 3: Reálna úroda pšenice ozimnej v roku 2005, interpolovaná na základe úrody stanovenej v 86 bodoch stanovenia zrnitosti pôdy (4a), modelovaná úroda (4b) a rozdiel medzi reálnou a modelovanou úrodou (4c)



Regresné modely priestorovej variability úrody pšenice ozimnej v sezóne 2004/2005: 2. skupina modelov

Na základe štatistického vyhodnotenia regresných modelov priestorovej variability úrody pšenice ozimnej v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005, vytvorených na základe atribútových tabuliek georeferencovaných súborov s variabilnými vstupnými premennými v gridovej sieti s priestorovým rozlíšením 5x5 m (model A až F, Tab. 3) možno konštatovať, že najvyšší koeficient viacnásobnej korelácie, ako aj koeficient determinácie a zároveň najnižšia priemerná chyba modelu boli zaznamenané pri modeli C. Regresný model vytvorený kombináciou vstupných premenných – DTM, NDVI, elektrickej vodivosti pôdy a vlhkosti pôdy, vysvetľuje 67,71% variability úrody pšenice ozimnej, pričom priemerná chyba tohto modelu predstavuje hodnotu 0,786t/ha. Tento výsledok (spolu s výsledkami dosiahnutými pri tematicky príbuzných modeloch A, B a F) poukazuje na fakt, že pri tvorbe regresných modelov nie je podstatné množstvo vstupných premenných, ale miera vzájomnej závislosti medzi úrodou a aplikovanou premennou. Zároveň je tento fakt dôležitý aj z hľadiska definovania dostupných alebo relatívne ľahko získateľných vstupných údajov (časovo a finančne) pre modelovanie s predpokladaným, potenciálne priaznivým dopadom na presnosť a spoľahlivosť modelu.

Výsledky porovnávania modelov A až F zároveň poukazujú na skutočnosť, že v klimatických podmienkach poľnohospodárskej sezóny 2004/2005 výraznejší vplyv na výslednú variabilitu úrody pšenice ozimnej mali predovšetkým dynamické vlastnosti pôdy a krajiny (pôdna vlhkosť, elektrická vodivosť pôdy, vegetačné indexy), pričom nevýrazne sa meniace vlastnosti pôdy (zrinitosť, obsah prístupných živín, obsah pôdneho organického uhlíka a pH) sa podieľali na variabilite úrody v menšej miere (model D).

Tabuľka 3 Štatistické hodnotenie vytvorených regresných modelov úrody pšenice ozimnej na pozemku Žihárec 0001/1 v roku 2005 (variabilný počet premenných)

model	koef. viacnásobnej korelácie	koef. determinácie	priemerná chyba modelu (t/ha)
A	0,725	0,525	0,954
B	0,817	0,667	0,798
C	0,823	0,677	0,786
D	0,631	0,398	1,074
E	0,770	0,594	0,883
F	0,805	0,649	0,821

Regresné modely priestorovej variability úrody pšenice ozimnej v sezóne 2004/2005: 3. skupina modelov

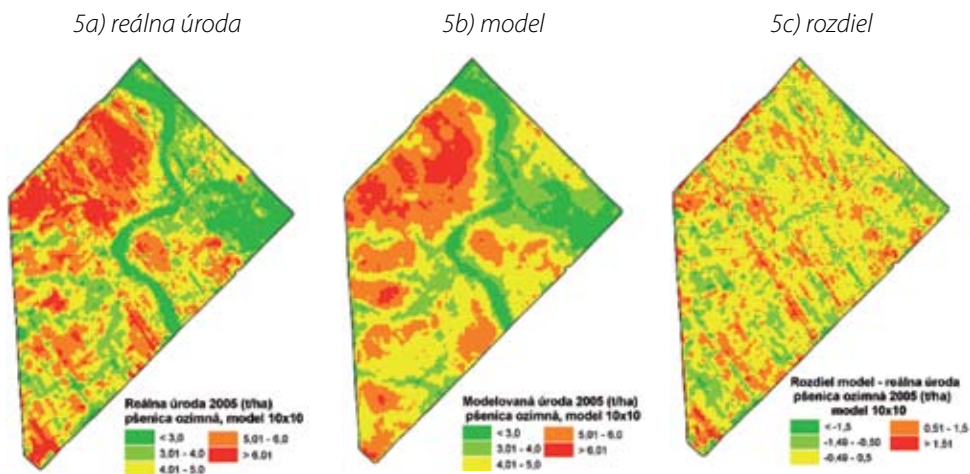
Na základe štatistického vyhodnotenia regresných modelov priestorovej variability úrody pšenice ozimnej v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005, vytvorených na základe atribútových tabuliek georeferencovaných súborov s definovanou gridovou sieťou s variabilným priestorovým rozlíšením (modely 5x5m, 10x10m, 20x20m, 30x30m; Obr. 3, 5, 6 a 7) možno konštatovať, že hodnota koeficientu viacnásobnej korelácie a koeficientu determinácie sa zvyšovala a zároveň hodnota priemernej chyby modelu klesala v závislosti na rastúcom stupni generalizácie (najpresnejší a priestorovú variabilitu najlepšie vystihujúci bol model vytvorený prostredníctvom gridovej siete s priestorovým rozlíšením 30x30m).

Príčinou je výrazná rôznorodosť priestorovej detailnosti vlastností pôdy a krajiny ako vstupných premenných pre model (na porovnanie 86 lokalít pri priestorovej reprezentácii zrnitosti verus 70 027 lokalít pri mapovaní úrody pšenice ozimnej), podmienenou výraznou rozdielnosťou jednotlivých metodických postupov pri ich získavaní (odber pôdnych vzoriek a dlhotrvajúce laboratórne analýzy verus metódy interpretácie satelitných obrazových záznamov).

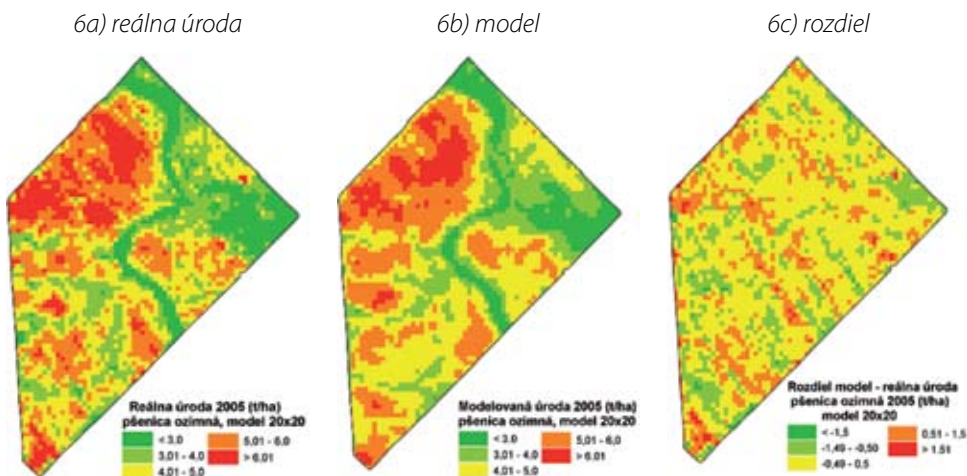
Tabuľka 4 Štatistické hodnotenie vytvorených regresných modelov úrody pšenice ozimnej na pozemku Žihárec 0001/1 v roku 2005 (variabilné priestorové rozlíšenie aplikovanej gridovej siete)

model	koef. viacnásobnej korelácie	koef. determinácie	priemerná chyba modelu (t/ha)
5x5	0,8447	0,7136	0,7409
10x10	0,8453	0,7145	0,7300
20x20	0,8652	0,7486	0,6677
30x30	0,8847	0,7826	0,6156

Obrázok 5 Model 10x10: Reálna úroda pšenice ozimnej v roku 2005 spracovaná prostredníctvom gridovej siete 10x0 m (5a), modelovaná úroda (5b) a rozdiel medzi reálnou a modelovanou úrodou (5c)



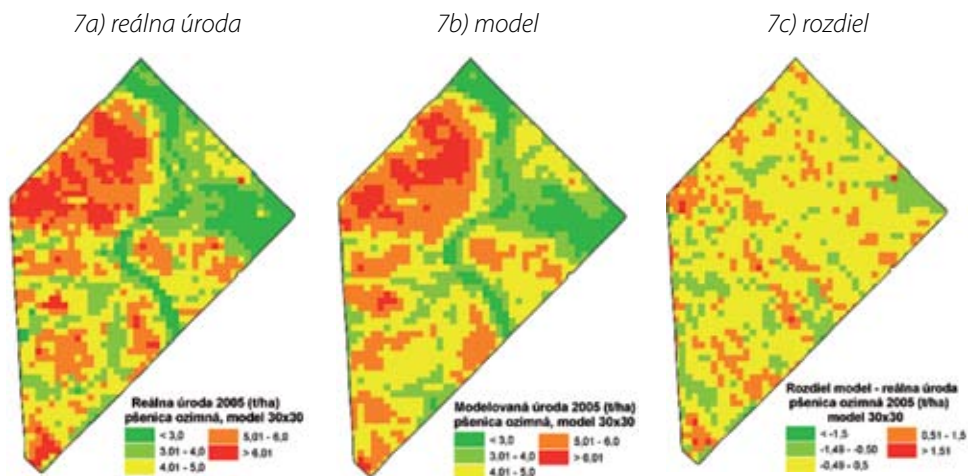
Obrázok 6 Model 20x20: Reálna úroda pšenice ozimnej v roku 2005 spracovaná prostredníctvom gridovej siete 20x20m (6a), modelovaná úroda (6b) a rozdiel medzi reálnou a modelovanou úrodou (6c)



Ideálnym prípadom by bola situácia, pri ktorej by všetky sledované charakteristiky boli priradené totožným priestorovým elementom (bez ohľadu na jeho priestorovú reprezentáciu; napríklad všetky sledované vlastnosti by boli priradené tým istým odberovým lokalitám – bodom definovaným v rámci modelového pozemku), čo by významne prispelo k presnejším a spoľahlivejším analýzám priestorových aj funkčných vzťahov. Z tohto hľadiska sa využívanie gridových sietí javí ako prijateľný kompromis (štatistická jednotka) pre zabezpečovanie relatív-

nej homogenity a harmonizácie priestorových údajov (aj v detailnej mierke), či následnej aplikácie napríklad pri modelovaní.

Obrázok 7 Model 30x30: Reálna úroda pšenice ozimnej v roku 2005 spracovaná prostredníctvom gridovej siete 30x30m (7a), modelovaná úroda (7b) a rozdiel medzi reálnou a modelovanou úrodou (7c)



ZÁVER

Na základe priestorových údajov vyjadrujúcich detailnú priestorovú variabilitu vybraných vlastností pôdy a krajiny v rámci modelového pozemku Žihárec 0001/1, pri pestovaní pšenice ozimnej v poľnohospodárskej sezóne 2004/2005 boli:

- hodnotené vzťahy v systéme pôda – rastlina – atmosféra prostredníctvom vytvorenej atribútovej tabuľky georeferencovaného súboru na základe gridovej siete s priestorovým rozlíšením 5x5m (reprezentuje priestorovú štruktúru pozemku);
- vytvorené a testované modely priestorovej variability úrody pšenice ozimnej prostredníctvom alternatívnych atribútových tabuliek georeferencovaných súborov a aplikácie metódy viacnásobnej regresie vytvorené a testované modely priestorovej variability úrody pšenice ozimnej (regresné rovnice zodpovedajú vyjadreniu funkčnej štruktúry modelového pozemku).

Porovnávacia analýza výsledkov testovania poukázala na viacero zaujímavých faktov:

- využívanie gridovej siete, bez ohľadu na jej priestorové rozlíšenie, v porovnaní s inými metódami prípravy atribútových tabuliek (reprezentujúcich priestorovú štruktúru agroekosystému) pre následnú tvorbu regresného modelu, vedie k zvýšeniu presnosti modelu, ako aj k zvýšeniu spoľahlivosti modelu (hodnoteného prostredníctvom priemernej chyby modelu);

- pri tvorbe regresných modelov nie je podstatné množstvo vstupných premenných, ale miera vzájomnej závislosti medzi úrodou a aplikovanou premennou, čo následne definuje podmienky výberu vstupných údajov pre modelovanie (aj z hľadiska ich predpokladaného dopadu na presnosť a spoľahlivosť modelu);
- výraznejší vplyv na výslednú variabilitu úrody pšenice ozimnej v analyzovanej sezóne mali predovšetkým dynamické vlastnosti pôdy a krajiny, pričom statické vlastnosti pôdy sa podieľali na variabilite úrody v menšej miere (pre všeobecný výber „vhodných“ vstupných údajov pre model je potrebná analýza viacerých, klimatických rozdielných sezón).

Viacnásobná regresia a tvorba regresného modelu predstavuje len jednu z viacerých teoreticky použiteľných metód modelovania (v zmysle tvorby modelu). Výhody aplikovania tejto metódy modelu spočívajú predovšetkým v tom, že pri dostupnosti vstupných údajoch ide o pomerne rýchlu, ľahko aplikovateľnú metódu, pričom výsledky relatívne dobre postihujú priestorovú variabilitu úrody (vizuálne porovnanie modelov bez ohľadu na chybu modelu) už pri nízkom množstve vstupných premenných. Na druhej strane, nevýhody (limity) použitia tejto metódy pri tvorbe modelu sú dané tým, že vygenerovaný model, resp. regresná rovnica platí len pre presne stanovené podmienky (vrátane aktuálnej poveternostnej situácie a ostatných dynamických vlastností agroekosystému, ktoré sú výrazne ovplyvňované vývojom počasia); preto pre každý rok by bolo potrebné vytvoriť vlastný model. Problematickou pri tvorbe regresného modelu je teda kombinácia dynamických a statických premenných (sledovaných vlastností) vo viacnásobnej regresnej analýze; dynamické premenné – napríklad rôzne časové horizonty pri NDVI alebo vlhkosti pôdy zodpovedajú vždy inému „príspevku“ v regresnej rovnici a menia tak samotnú regresnú rovnicu aj v aktuálnej poľnohospodárskej sezóne.

Aj napriek viacerým nevýhodám metódy viacnásobnej regresie pre tvorbu modelov funkčnej štruktúry agroekosystému (s definovanými prvkami reliéf – atmosféra – pôda – rastlina), možno konštatovať ich prínos pre správne pochopenie rôznych aspektov fungovania a správania sa poľnohospodárskej krajiny, a teda aj pri samotnej príprave a návrhu jednotlivých technológií presného poľnohospodárstva.

LITERATÚRA

- BEHRENS, T. 2000. *DEMAT – DEM Analysis Tool*. ESRI, 1995-2008 [online]. 2000, [cit. 2008-09-18]. Dostupné na internete: <<http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=10222>>.
- HALAS, J. – NOVÁKOVÁ, M. – SCHOLTZ, P. 2007. *Priestorová diferenciácia vybraných pôdnych a environmentálnych vlastností a ich vplyv na úrodu pšenice ozimnej (Triticum aestivum L.)*. Vedecké práce. Bratislava: VÚPOP, 2007, č. 29, s. 37-47.
- HALAS, J. - NOVÁKOVÁ, M. - SCHOLTZ, P. 2008. *Účinnosť systému presného poľnohospodárstva*. Naše pole, roč. 12, 2008, č. 8, s. 32-33.
- JOHNSTON, K. - HOEF, J.M.V. - KRIVORUCHKO, K. – LUCAS, N. 2001. *Using ArcGIS™ Geostatistical Analyst*. California: ESRI Press, Redlands, USA, 2001, 300 p.
- KRCHO, J. 1974. *Štruktúra a priestorová diferenciácia fyzikogeografickej sféry ako kybernetického systému*. Geografický časopis, roč. 26, 1974, č. 2, s. 133– 162.
- KRCHO, J. 1990. *Morfometrická analýza a digitálne modely reliéfu*. Bratislava: Veda, 427 p. ISBN 80-224-0018-1.
- MCCOY, J. - JOHNSTON, K. 2001. *Using ArcGIS™ Spatial Analyst*. California: ESRI Press, Redlands, USA, 2001, 232 p. ISBN 1-58948-005-8.

- MITÁŠOVÁ, I. - VEVERKA, B. - PEZLAR, Z. 1990. *Základy teórie systémov a kybernetiky s aplikáciami v geodézii a kartografii*. Bratislava: Alfa, 1990, 240s. ISBN 80-05-00520-2.
- NOVÁKOVÁ, M. - SKALSKÝ R. 2008. *Možnosti využitia údajov KPP v systéme bio-fyzikálneho modelovania pre potreby predpovedania úrod a produkcie poľnohospodárskych plodín*. In Sobocká, J. - Kulhavý, J. (Eds.). *Pôda v modernej informačnej spoločnosti*. Zborník príspevkov 1. Konferencie Českej pedologickej spoločnosti a Societas pedologica slovacica (Rožnov pod Radhoštěm 20 – 23.8 2007), 2008, s. 590–598, ISBN 978-80-89128-44-0.
- SCHMIDT, F. 2002. *TOPOCROP / Topocrop Terrain Indices. ESRI 1995-2008 [online]*. [cit. 2008-09-18]. Dostupné na internete: < <http://arcscrippts.esri.com/details.asp?dbid=12527>>
- SCHOLTZ, P. - NOVÁKOVÁ, M. - HALÁS, J. - SVIČEK, M. 2006. *Aktivity výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy (VÚPOP) v rámci problematiky presného poľnohospodárstva*. Vedecké práce. Bratislava: VÚPOP, 2006, č. 28, s. 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. - AGGELOPOULOU, A. - GEMTOS, F. - BLACKMORE, S. (eds.). *Poster Paper Proceedings of 6 Conference of Precision farming – ECPA [CD-ROM]*. Greece, 2007.
- SKALSKÝ, R. - NOVÁKOVÁ, M. - BALKOVIČ, J. - TARASOVIČOVÁ, Z. 2007. *Vybrané teoretické aspekty aplikácie simulačných modelov system pôda-rastlina-atmosféra v geografickom kontexte*. In *Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra*. Zborník z 15. Posterového dňa s medzinárodnou účasťou [CD ROM]. Bratislava: ÚH SAV, 2007, s. 569–574, ISBN: 978-80-89139-13-2.
- SVIČEK, M. - NOVÁKOVÁ, M. 2006. *Detailné geoinformácie ako predpoklad úspešného uplatnenia postupov precízneho poľnohospodárstva*. In: Nozdrovický, L.: *Rozpracovanie systému presného hospodárenia na pôde v podmienkach Slovenskej republiky*. Zborník SAPV 51, Nitra 6.06.2006. SAPV Nitra, Slovakia, 2006, s. 36–41.
- StatSoft, Inc. 2001. *STATISTICA (data analysis software system) [online]*. 2001, [cit. 2008-09-18]. Dostupné na internete: < www.statsoft.com>.
-

PRIESTOROVÉ VYMEDZENIE VHODNOSTI PODMIENOK PROSTREDIA PRE PESTOVANIE VYBRANÝCH DRUHOV LIEČIVÝCH, AROMATICKÝCH A KORENINOVÝCH RASTLÍN SO ZRETEĽOM NA PÔDU

SPATIAL DEFINITION OF SUITABILITY OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR CROPPING OF SELECTED TYPES OF MEDICINAL, AROMATIC AND SPICES PLANTS WITH REGARD TO THE SOIL

Eva PEKÁROVÁ, Ivana KOVÁČIKOVÁ

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 12 Bratislava
email: e.pekarova@vupop.sk*

Abstract

Soil, climatic and orographic environment conditions significantly affect the production of medicinal, aromatic and spices (MAS) plants and their quality. Paper is focused on the analysis of environment conditions for the growth of selected MAS plants as follows: Sweet basil, Pot marigold, Wild chamomile, Common lavender, Peppermint. Spatial definition of environment suitability for cropping of selected MAS plants is based on system of soil-ecological units that in form of geographical database is incorporated into soil information system of agricultural soils. The share of suitable soils for cropping of selected MAS plants ranges from 535 (in the case of Common lavender) to 621 thousand hectares (in the case of Sweet basil). Defined areas suitable for cropping of selected MAS plants embrace the soils with high productivity that belong mostly to primary soil fund. Despite of that these plants do not endanger provision of production of basic commodities and thus food security. Contrariwise, placing of cropping of these plants within productive areas of agricultural soil can be perceived as contribution to the increasing environmental biodiversity.

Keywords: Sweet basil, Pot marigold, Wild chamomile, Common lavender, Peppermint, suitability for cropping, soil-ecological conditions

Abstrakt

Pôdne, klimatické a orografické podmienky prostredia významne ovplyvňujú produkciu liečivých, aromatických a koreninových rastlín (LAK) rastlín a ich kvalitu. Príspevok je zameraný na analýzu podmienok prostredia pre rast vybraných druhov LAK rastlín (bazalka pravá, nechtík lekársky, rumanček kamilkový, levandula úzkolistá, mäta pieporná). Priestorové vymedzenie vhodnosti prostredia pre pestovanie vybraných druhov rastlín vychádza zo systému bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek, ktorý je v podobe geografickej databázy premietnutý

v informačnom systéme poľnohospodárskych pôd SR. Podiel vhodných plôch pre kultúrne pestovanie vybraných druhov LAK rastlín sa pohybuje v rozmedzí od 535 tis. ha v prípade levandule úzkolistej po 621 tis. ha v prípade bazalky pravej. Vymedzené územia vhodnosti pestovania vybraných LAK rastlín zahrňujú pôdy s vysokým produkčným potenciálom a zaradených z väčšej časti do primárneho pôdneho fondu. Rozsahom pestovania tieto rastliny neohrozujú zabezpečovanie produkcie základných komodít a potravovej bezpečnosti. Naopak zaradenie ich pestovania v rámci produkčných oblastí poľnohospodárskej pôdy možno vnímať ako príspevok k zvyšovaniu biodiverzity prostredia.

Kľúčové slová: Bazalka pravá, Nechtík lekársky, Rumanček kamilkový, Levanduľa úzkolistá, Mäta pieporná, vhodnosť pestovania, pôdno-ekologické podmienky

ÚVOD

Pestovanie liečivých, aromatických a koreninových rastlín (LAK) má v súčasnosti nepochybne svoj význam z hľadiska potrieb spotrebiteľa a to aj napriek tomu, že rozsah tohto pestovania je v porovnaní s inými plodinami a rastlinami relatívne nízky (BUCHTOVÁ, DRAŠNÁROVÁ, 2004; ŠALAMON, 2000).

Cieľ pestovania rôznych druhov LAK rastlín spočíva v dosiahnutí tak množstva ako aj kvality produkcie, čo možno dosiahnuť pri zosúladení požiadaviek rastlín s podmienkami prostredia, ktoré zahrňuje klimatické, orografické, edafické a biotické faktory. Kým niektoré parametre pôd možno do určitej miery korigovať, orografické a klimatické podmienky je treba rešpektovať a prispôbiť sa im. Pestrý pôdny fond Slovenska, prítomnosť troch klimatických oblastí, poloha na rozhraní panónskej, západokarpatskej a východokarpatskej flóry a fauny vytvárajú vhodné podmienky pre pestovanie mnohých druhov liečivých, aromatických a koreninových druhov s rôznymi ekologickými nárokmi. Kvalita pôdy vo väzbe na ostatné faktory prostredia významnou mierou ovplyvňuje produkčný proces a efektívnosť pestovania plodín, čo dokumentujú viaceré práce (napr. VILČEK, BEDRNA, 2007; VILČEK, BUJNOVSKÝ, 2008). Nároky liečivých, aromatických a koreninových plodín na stanovištné podmienky sú predmetom viacerých publikácií (HABÁN, 1996; KRÍKAVA, PETŘÍKOVÁ, 1997; HABÁN, ŠALAMON, 2003; KÓŇA, KÓŇOVÁ, 2004, a i.). Vhodnosť pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie vybraných druhov LAK rastlín a ich priestorová diferenciacia v rámci poľnohospodárskych pôd Slovenska sú predmetom predkladaného príspevku.

MATERIÁL A METÓDY

Príspevok je zameraný na analýzu podmienok prostredia pre vybrané LAK rastliny, ktorých pestovanie na ornej pôde je z hľadiska ich využívania v podmienkach SR perspektívne. Všeobecne pre LAK rastliny platí, že vyžadujú pôdy dobre spracované, bohaté na živiny a s vhodnými klimatickými podmienkami. Čím vyššie úrody biomasy očakávame, tým sú náročnejšie

na pôdu a množstvo živín v nej. Liečivé rastliny na semeno majú podobné požiadavky na pôdu ako obilniny a tie, ktoré pestujeme pre koreň okrem toho aj pôdy dostatočne hlboké (nad 0,6 m).

Na základe najžiadanejších a najpestovanejších LAK rastlín na Slovensku (HABÁN, 2007) sme vybrali nasledovné:

1. *Bazalka pravá (Ocimum basilicum)*
2. *Levandula úzkolistá (Levandula angustifolia)*
3. *Mäta pieporná (Mentha piperita)*
4. *Nechtík lekársky (Calendula officinalis)*
5. *Rumanček kamilkový (Matricaria recutita)*

Priestorové vymedzenie vhodnosti prostredia pre pestovanie vybraných druhov LAK rastlín vychádza zo systému bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (LINKEŠ A I., 1996; DŽATKO, 2002), ktorý je v podobe geografickej databázy premietnutý v informačnom systéme poľnohospodárskych pôd SR.

Ako prvý parameter vhodnosti podmienok prostredia je vybraný pre každú rastlinu vhodný klimatický región Slovenska. Kľúčovým ukazovateľom sú účelovo vybrané zoskupenia produkčne výhodných pôdnych subtypov a pôdnych druhov na základe zrnitosti. Ďalšími parametrami pre jednotlivé rastliny sú vybrané optimálne kódy svahovitosti, expozície, skeletovitosti, hĺbky pôdneho profilu a pH.

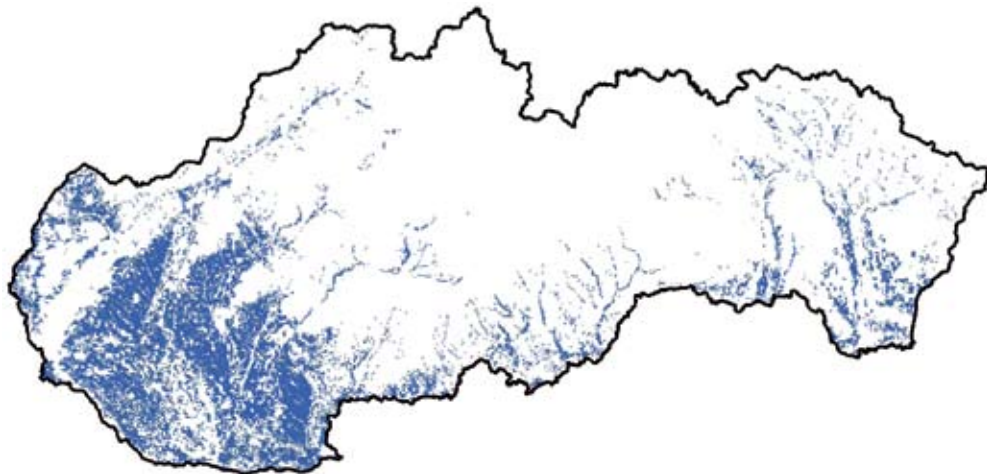
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Nároky vybraných liečivých, aromatických a koreninových rastlín na podmienky prostredia uvádzané v dostupnej literatúre sumarizuje tabuľka 1.

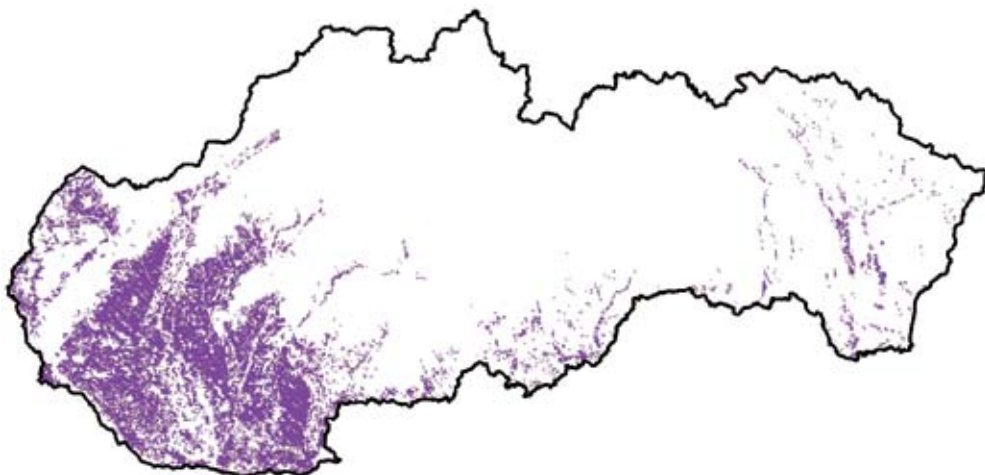
Uvedené požiadavky boli premietnuté do pôdnych, klimatických a orografických podmienok prostredia, ktoré sú zahrnuté v kóde bonitovaných pôdno-ekologických podmienok. Na základe uvedeného prístupu bola vymedzená vhodnosť podmienok pestovania vybraných LAK rastlín v rámci ornej pôdy SR, pričom výber stanovištných podmienok bol zameraný na vhodné podmienky, ktoré vytvárajú základný predpoklad pre dosiahnutie úrod rastlín v požadovanej kvalite a dosiahnutie rentability pestovania. Podiel vhodných plôch pre kultúrne pestovanie vybraných druhov LAK rastlín sa pohybuje v rozmedzí od 535 tis. ha v prípade levandule úzkolistej po 621 tis. ha v prípade bazalky pravej, čo ilustrujú aj nasledovné obrázky.

Tabuľka 1 Nároky vybraných liečivých, aromatických a koreninových rastlín na podmienky prostredia		
Názov rastliny	Nároky na klimatické a orografické podmienky	Nároky na pôdne podmienky
Bazalka pravá <i>Ocimum basilicum</i>	Teplomilná rastlina, vyžadujúca slnečné pozemky s priemernými teplotami 20-25 °C.	Vyžaduje pôdy hlboké, humózne, rýchlo sa prehrievajúce, pH 5,5-6,5 hlinito-piesočnaté až piesočnato-hlinité, kypré, zásobené vápnikom. Nevhodné sú ťažké, ílovité a zamokrené pôdy.
Nechtík lekársky <i>Calendula officinalis</i>	Vyžaduje slnečné polohy a dostatok pôdnej vlhky. Nie je vhodný do chladných horských a veľmi teplých južných oblastí.	Vhodné sú pôdy stredne ťažké, humózne, hlinité, hlinito-piesočnaté. Zamokrené, ale aj veľmi výsušné piesočnaté pôdy nie sú vhodné.
Rumanček kamilkový <i>Matricaria recutita</i>	Svetlomilný druh vhodný do oblastí s ročným úhrnom zrážok 450-650 mm. Ekologicky adaptabilný.	Indiferentný druh na pôdnu reakciu, rastie na pôdach s pH 4,2-8,2 ale najkvalitnejšie úrody dosahuje na hlinito-piesočnatých pôdach s pH 7,0-8,1 dostatočne vlhkých. Okrem piesočnatých a kamenitých pôd sa môže pestovať takmer na všetkých pôdnych druhoch a typoch.
Levandula úzkolistá <i>Levandula angustifolia</i>	Teplomilná rastlina, slnečné stanovišťa, chránené pred severnými vetrami, exponované na južných svahoch.	Vhodné sú pôdy ľahšie, suché, hlinito-piesočnaté, priepustné, humózne, karbonátové.
Mäta pieporná <i>Mentha piperita</i>	Vlhkomilná rastlina, vhodná od nížinných do podhorských oblastí do 500 m n.m, optimálnymi teplotami od 20-24°C.	Vhodné sú pôdy humózne, dostatočne vlhké, hlinité s neutrálnou pH. Suché, piesočnaté, a ílovité pôdy sú nevyhovujúce. Z pôdnych typov sú vhodné hnedozeme a černoze.

Obrázok 1 Vymedzenie vhodných stanovištných podmienok pre pestovanie Bazalky pravej

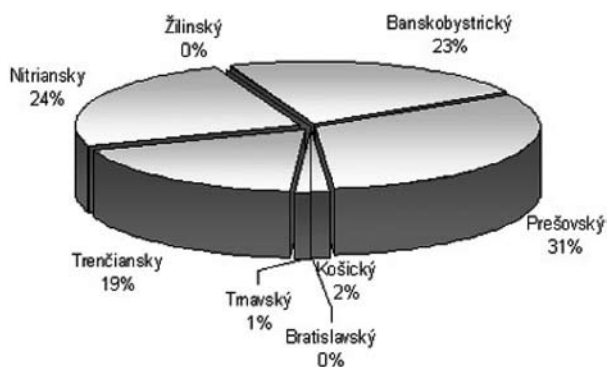


Obrázok 2 Vymedzenie vhodných stanovištných podmienok pre pestovanie *Levandule úzkolistej*



Vymedzené územia vhodnosti pestovania vybraných LAK rastlín zahrňujú pôdy s vysokým produkčným potenciálom a zaradených z väčšej časti do primárneho pôdneho fondu. Ako vyplýva z grafu 1, v podmienkach Slovenska LAK rastliny sú najviac pestované v Prešovskom (31%), Nitrianskom (24%) a Banskobystrickom (23%) kraji. Najväčšie rezervy v pestovaní LAK rastlín má Trnavský kraj a Košický kraj. Samozrejme, LAK rastliny – predovšetkým mäta piepornú a rumanček pravý – možno pestovať v menej produkčných oblastiach s tým, že rentabilita pestovania môže byť nižšia.

Graf 1 Percentuálne zastúpenie pestovania LAK rastlín



Optimálne pôdno-ekologické podmienky v rámci primárneho pôdneho fondu umožňujú zaradiť uvedené rastliny do pestovania v rámci ekologického poľnohospodárstva, kde kvalitná pôda je základom úspešného pestovania rastlín. Vo všeobecnosti sa predpokladá, že rozsah ekologického pestovania rastlín by z doterajších 2,18% z celkovej výmery poľnohospodárskej pôdy mohol vzrásť na 5%, čo je cieľom ekologického plánu do roku 2010. Produktivita špecializovaných rastlín s ekologickou výrobou je síce o niečo nižšia ako pri konvenčných technológiách, ale

pri pestovaní na primárnom a čiastočne sekundárnom pôdnom fonde u nás predpokladá perspektívu. Rozsahom pestovania LAK rastlín ako doplnkovej produkcie neohrozujú zabezpečovanie produkcie základných komodít a potravinovej bezpečnosti. Naopak zaradenie ich pestovania v rámci produkčných oblastí poľnohospodárskej pôdy možno vnímať ako príspevok k zvyšovaniu biodiverzity poľnohospodársky využívaného prostredia, čo potvrdzuje aj Šarapatka a i. (2008).

Hoci stanovištné podmienky umožňujú rovnomernejšie rozšírenie pestovania týchto rastlín na ornej pôde, k faktorom ktoré zrejme tiež rozhodujú o ich pestovaní patria tradícia v pestovaní, technologické vybavenie vrátane pozberovej úpravy rastlín a samozrejme tiež dodávateľsko-odberateľské vzťahy.

ZÁVER

Plochy vhodné pre kultúrne pestovanie vybraných druhov LAK rastlín zahrňujú pôdy s vysokým produkčným potenciálom a sú zaradené z väčšej časti do primárneho pôdneho fondu. Uvedená skutočnosť umožňuje zaradiť uvedené rastliny do pestovania v rámci ekologického poľnohospodárstva, kde kvalitná pôda je základom úspešného pestovania rastlín.

Rozsahom pestovania LAK rastlín ako doplnkovej produkcie neohrozujú zabezpečovanie produkcie základných komodít a potravinovej bezpečnosti. Naopak zaradenie ich pestovania v rámci produkčných oblastí poľnohospodárskej pôdy možno vnímať ako príspevok k zvyšovaniu biodiverzity prostredia. Stanovištné podmienky umožňujú rovnomernejšie rozšírenie pestovania týchto rastlín na ornej pôde v porovnaní so súčasným stavom.

Biodiverzita potrebuje krajinnú štruktúru a poľnohospodárstvo potrebuje biodiverzitu. Preto musí byť vo zvýšenej miere podporovaná krajinná štruktúra z pohľadu rozmanitosti zosúladená s najvhodnejšími podmienkami prostredia pre daný pestovateľský druh.

LITERATÚRA

- BUCHTOVÁ, I. – DRAŠNÁROVÁ, Z. 2004. *I. Léčivé, aromatické a kořeninové rostliny*. Situační a výhledová zpráva. Praha: MZ ČR, 2004, 48 s. ISBN 80–7084–317–9
- DŽATKO, M. 2002. *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdno-ekologických regiónov Slovenska*. Bratislava: VÚPOP, 2002, 88 s. ISBN 80–85361–94–9
- HABÁN, M. 1996. *Pestovanie liečivých rastlín*. Nitra: ÚVTIP, 1996, 135 s. ISBN 80–85330–29–6
- HABÁN, M. 2007. *LAKR v Európe*. Poľnohospodár 13/49, 2007
- HABÁN, M. – ŠALAMON, I. 2003. *Pestovanie a spracovanie liečivých, aromatických a koreninových rastlín v SR*. In: Udržateľné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka: Zborník prác z vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou. Nitra: SPU, 2003, s. 306–308 ISBN 80–8069–246–7
- KOŇA, J. – KOŇOVÁ, E. 2004. *Koreninové a aromatické rastliny*. Nitra: SPU, 2004, 67 s. ISBN 80–069–385–4
- KŘÍKAVA, J. – PETŘÍKOVÁ, K. 1997. *Speciální rostliny. Pěstování kořeninových, léčivých a aromatických rostlin*. Brno: VŠZ, 1997, 61 s.
- LINKES, V. – PESTŮN, V. – DŽATKO, M. 1996. *Průručka pro používání map bonitovaných půdno-ekologických jednotek*. Bratislava: VÚPÚ, 1996, 106 s. ISBN 80–85361–19–1
- ŠALAMON, I. *Rozvojový program výroby a spracovania liečivých, aromatických a koreninových rastlín v SR*. Michalovce: Grafex, 2000, 160 s. ISBN 80–968468–7–6
- ŠARAPATKA, B. A. I. 2008. *Zemědělství a krajina – Cesty k vzájemnému souladu*, Olomouc: Univerzita Palackého, 2008, 271 s. ISBN 978–80.244–1885–8

-
- VILČEK, J. – BEDRNA, Z. 2007. *Vhodnosť poľnohospodárskych pôd a krajiny Slovenska na pestovanie rastlín*. Bratislava: VÚPOP, 2007, 248 s. ISBN 978-80-89128-36-5
- VILČEK, J. – BUJNOVSKÝ, R. 2008. *Produkčno-ekonomické aspekty udržateľného využívania poľnohospodárskych pôd Slovenska*. Bratislava: VÚPOP, 2008, 62 s. ISBN 978-80-89128-42-6
-

VYBRANÉ PROBLÉMY TVORBY SYSTÉMU MODELOVANIA PRE POTREBY OPTIMALIZÁCIE VYUŽÍVANIA KRAJINY NA CELOSVETOVEJ ÚROVNI

SELECTED PROBLEMS OF CREATION THE MODELING SYSTEM FOR GLOBAL- LEVEL LAND USE OPTIMIZATION

**Rastislav SKALSKÝ¹, Zuzana TARASOVIČOVÁ¹, Juraj BALKOVIČ^{1,2},
Erwin SCHMID³**

¹ Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e-mail: r.skalsky@vupop.sk

² Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra pedológie, Mlynská dolina,
842 15 Bratislava

³ Institute for Sustainable Economic Development, Department of Economics and Social Sciences,
University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna, Feistmantelstrasse 4, A-1180 Vienna

Abstract

One of the possible ways of gathering the information on landscape is application of model-data fusion approach. In the paper we solve the problems of suitable organization of spatially represented inputs for global-level bio-physical modeling. As the source of geographical data we use the data on weather, topography, soil, land cover and land use which are free available from public domains. We propose and as geo-referenced data layers implement spatial units serving a frame for simulations with alternative inputs (homogenous response units) and spatial units for geographic representation of input data for modeling (simulation units). In the context of some existing realizations of global-level modeling systems and possibilities of the global-level data availability we discuss some methodological moments of the proposed input data organization. We also identify the place of geoecological analysis in the interpretation of geographically represented inputs for global-level bio-physical modeling.

Keywords: EPIC model, global-level bio-physical modeling, homogenous response units, simulation units, geoecological analysis;

Abstrakt

Ako jeden zo spôsobov tvorby informácií o krajine sa v poslednom období uplatňuje prístup založený na spoločnej aplikácii simulačného modelu a geografických údajov. Cieľom nášho príspevku je riešiť problém vhodnej organizácie priestorovo reprezentovaných vstupov pre simulačný model na celosvetovej úrovni. Ako zdroje údajov pre získanie vstupov boli uvažované verejne dostupné údaje o počasí, georeliéfe, pôde, krajinskej pokrývke a využívaní krajiny s celosvetovým pokrytím, ktoré sú dostupné z verejných zdrojov. Boli navrhnuté a v podobe georeferencovaných vrstiev realizované priestorové jednotky pre zabezpečenie simulácií s alternatívnymi vstupmi (jednotky rovnakej odozvy) a jednotky pre priestorovú reprezentáciu

vstupov (simulačné jednotky). V kontexte existujúcich prístupov a možností na úrovni dostupnosti údajov boli diskutované niektoré metodické momenty spracovania priestorových jednotiek. Identifikované bolo miesto geoekologickej analýzy v procese interpretácie priestorovo reprezentovaných vstupov pre simulačné modelovanie na celosvetovej úrovni.

Kľúčové slová: model EPIC, modelovanie na globálnej úrovni, jednotky rovnakej odozvy, simulačné jednotky, geoekologická analýza;

ÚVOD

Ako významný nástroj tvorby informácií pre podporu rozhodovania v oblasti plánovania krajiny a rozhodovania v oblasti životného prostredia sa v poslednom období uplatňuje spoločná aplikácia simulačného modelu fungovania ekosystému a geografických údajov o jeho relevantných zložkách (napr. ROSSITER, 2003; JUSTICE, BECKER-RESHEF, 2007).

Výhodou uvedeného prístupu je to, že umožňuje vytvárať informáciu o krajine, jej zložkách, ktorá je priestorovo jednoznačne vyjadrená (geografická informácia), kvantitatívna (informácia o zložkách krajiny je vyjadrená prostredníctvom konkrétnych hodnôt zvolených charakteristík) a v čase dynamická (t.j. môže reflektovať na viacero časových horizontov), pričom nezanedbateľnou prednosťou tohto prístupu je možnosť prognózovania vývoja zložiek agroekosystému (krajiny) do budúcnosti.

Vo svete je uvedený prístup aplikovaný pre rôzne konkrétne aplikačné účely. Na celosvetovej úrovni je takto hodnotený napríklad vplyv globálneho otepľovania na produkciu poľnohospodárskych plodín (TAN, SHIBASAKI, 2003) hodnotená emisia oxidov dusíka v rôznych podmienkach poľnohospodárskeho využívania pôdy (STEFFEST A I., 2007), alebo problematika racionálneho využívania vodných zdrojov pri produkcii poľnohospodárskych plodín (LIU A I., 2007).

Uvedené práce predstavujú z aplikačného hľadiska relatívne jednoduché systémy zamerané priamo na riešenie danej úlohy. S tým súvisí aj relatívne málo zložitý systém organizácie a formálneho vyjadrenia geografických údajov na úrovni vstupov a výstupov modelovania.

Z pohľadu organizácie vstupov a výstupov simulačného modelovania je zložitejší prístup, pri ktorom sú simulované charakteristiky krajiny priamo uvažované ako vstupy pre presne stanovený systém hodnotenia, resp. plánovania krajiny. Príkladmi tohto prístupu, ktorý bol aplikovaný na úrovni Európskej únie, môžu byť práce LEIPA A I. (2008), SCHMIDA A I. (2007).

V oboch uvedených príkladoch je spoločná aplikácia simulačného modelu agroekosystému a príslušných geografických údajov o zložkách ekosystému realizovaná účelovo, tak, aby vytvorili vhodný rámec a konkrétne vstupy pre ekonomickú optimalizáciu poľnohospodárskeho (resp. aj lesohospodárskeho), (SCHMID A I., 2007) využívania krajiny pomocou ekonomických optimalizačných modelov.

SCHMID A I. (2007) na úrovni Európskej únie, tiež aj BALKOVIČ A I. (2006) na príklade spolkovej krajiny Báden-Württemberg (Nemecko) na úrovni organizácie geografických údajov o relevantných zložkách ekosystému (krajiny) ako nástroj organizácie vstupov a výstupov simulačného

modelovania a zároveň nástroj testovania rôznych alternatívnych politík, resp. alternatívneho vývoja klímy v podmienkach klimatickej zmeny pri prognózovaní a optimalizácii budúceho vývoja emisií a sekvestrácie skleníkových plynov ekonomickými modelmi prezentujú koncept jednotiek rovnakej odozvy (*homogenous response units*).

Jednotky rovnakej odozvy (ďalej ako HRU) vo všeobecnosti predstavujú priestorové vyjadrenie takých charakteristík ekosystému (krajiny), ktoré sú z hľadiska riešeného problému relatívne stabilné a nie sú zásadne ovplyvňované prostredníctvom tých faktorov, ktoré sú uvažované ako dôležité z hľadiska špecifikácie simulovaných alternatív (napr. konkrétne využívanie krajiny, scenár vývoja klímy).

V konkrétnom príklade prezentovanom v prácach SCHMID A. I. (2007), BALKOVIČ A. I. (2006, 2007) HRU zároveň reprezentujú aj rámec pre definovanie priestorových jednotiek nižšieho rádu, ktoré vytvárajú priamu priestorovú referenciu pre reprezentáciu vstupov a výstupov modelovania (simulačné jednotky, ďalej ako SimU) a rozhranie, prostredníctvom ktorého je umožnená komunikácia vytvorenej geografickej informácie medzi simulačným modelom a priestorovo organizovanými vstupmi a výstupmi a ekonomickým optimalizačným modelom.

Cieľom nášho príspevku je riešenie organizácie vstupných údajov pre potreby realizácie simulácií fungovania ekosystému pomocou modelu EPIC (WILLIAMS, 1995; IZARRAULDE A. I., 2006) na celosvetovej (globálnej úrovni), ktoré budú predstavovať vstup pre ekonomický optimalizačný model FASOM (ADAMS A. I., 1996).

Pri riešení vychádzame z existujúceho konceptu HRU a SimU (BALKOVIČ A. I., 2006, 2007; SCHMID A. I., 2007). Tento koncept musí byť vhodne modifikovaný, tak aby zodpovedal požiadavkám riešenia problematiky na celosvetovej úrovni.

S riešením obsahovej stránky problému úzko súvisí aj potreba zabezpečenia vhodnej formálnej organizácie geografických údajov (ich priestorovej reprezentácie), ktorá jednak vhodne odráža potreby modelovania a zároveň umožní priestorovú a obsahovú harmonizáciu údajov z rôznych zdrojov a rôznej kvality.

Uvedená problematika je riešená v rámci výskumného projektu 7. Rámcového programu Európskej komisie *GEO-BENE – Global Earth Observation – Benefit Assessment: Now, Next, and Emerging* (<http://www.geo-bene.eu/>).

MATERIÁL A METÓDY

Teoretické východiská pre riešenie organizácie geografických údajov

Nástrojom teoretického uvažovania spoločnej aplikácie simulačného modelu ekosystému a geografických údajov môže byť systém modelovania (SKALSKÝ A. I., 2007).

Pojem systém modelovania vyjadruje integrovaný charakter tohto prístupu, a stotožňuje simulačný model a geografické údaje s tradične samostatne vnímanými modelmi funkčnej a priestorovej štruktúry krajiny (cf. KRCHO, 1990) a zároveň oba prístupy vníma v konkrétnom aplikačnom kontexte (aspekt modelovania), čím systém modelovania ako celok predstavuje špeciálny spôsob uvažovania krajiny syntézy (v zmysle URBÁNKA, 2006) ako nástroja krajinného plánovania.

Prvky systému modelovania, ktoré v zásadnej podobe ovplyvňujú charakter organizácie geografických údajov je model modely funkčnej a model priestorovej štruktúry ekosystému (krajiny), cf. KRCHO (1990).

Model funkčnej štruktúry predstavuje takú abstrakciu krajiny, ktorá reflektuje na fungovanie krajiny v zmysle výmeny, transportu a premien látok, energie a informácie medzi jej zložkami. Krajina, jej funkčný aspekt – ekosystém, je modelovaný prostredníctvom stavov prvkov jednotlivých zložiek ekosystému a ich zmien. Z formálneho hľadiska stavy prvkov reprezentujú vstupy, alebo výstupy simulačného modelu, ktorý prostredníctvom implementovaných matematických vzťahov modeluje ich zmeny.

Model priestorovej štruktúry krajiny predstavuje abstrakciu, ktorá sa sústreďuje na priestorovú distribúciu stavov vybraných stavebných prvkov zložiek krajiny. Stavy prvkov sú modelované ako priestorové (teritoriálne) jednotky, ktorých obsah je vyjadrený jedným stavom daného prvku alebo špecifickou kombináciou stavov viacerých prvkov pri uvažovaní obsahovo komplexných (geoekologických) priestorových jednotiek.

Vzájomný vzťah modelu funkčnej a priestorovej štruktúry je sprostredkovaný stavmi uvažovaných prvkov ekosystému, t.j. z formálneho hľadiska je komunikácia medzi simulačným modelom a geografickými údajmi realizovaná prostredníctvom vstupov a výstupov simulačného modelu.

Priestorový model krajiny, ako súčasť systému modelovania tak musí vyjadrovať priestorovú distribúciu tých prvkov zložiek krajiny, ich stavov, ktoré predstavujú vstupy pre model a zároveň umožňujú vhodne priestorovo reprezentovať výstupy z modelovania.

Z metodologického pohľadu sa pri riešení organizácie geografických údajov pre potreby realizácie systému modelovania jedná o účelovú geoekologickú analýzu územia a tvorbu priestorového modelu krajiny v podobe súboru vnútorne homogénnych geoekologických jednotiek, ktoré sú formálne vyjadrené klasickou mapou alebo v podobe geografickej databázy (cf. MIČIETOVÁ, 1999). Priestorové geoekologické jednotky svojim obsahom reprezentujú SimU.

Dôležitým momentom geoekologickej analýzy je uvažovanie konceptu geoekologického invariantu (cf. MIČIAN, ZATKALIK, 1986; MINÁR A I. 2001), ktorý umožňuje na formálnej úrovni uvažovať HRU.

Nároky modelu EPIC a modelu FASOM na vstupy

Model EPIC (WILLIAMS, 1995; IZZARRAULDE A I., 2006) je matematický model, ktorý je dostupný v podobe softvérovej aplikácie. Umožňuje v dennom časovom kroku simulovať vývoj ekosystému a za rôzne obdobia bilancovať toky a zásoby látok a energie v ekosystéme ako takom alebo v jeho uvažovaných zložkách.

Ako vstupy model EPIC vyžaduje kvantitatívne údaje o počasí (denný chod meteorologických charakteristík), reliéfe (nadmorská výška a svahovitosť), pôde (morfológické, fyzikálne a chemické vlastnosti) a spôsobe využívania krajiny (plodina, ošetrovanie plodiny, antropogénne vstupy na úrovni hnojenia, závlah a obrábania pôdy). Vstupy pre model EPIC (ak je uvažovaná jeho aplikácia v geografickom kontexte), musia byť organizované prostredníctvom SimU.

Model FASOM (ADAMS A I., 1996) je ekonomický optimalizačný model, ktorý na základe

stanovených limitov (výmera pôdy, jej kvalita, aktuálne využívanie) a ekonomických parametrov ľudských vstupov (náklady/výnosy) a parametrov trhu komodít (dopyt, ceny) umožňuje optimalizovať využívanie krajiny s ohľadom na stanovené ekonomické alebo environmentálne kritériá.

Model FASOM je schopný premenné prostredia (najmä kvalita pôdy vo vzťahu k jej produkčným a environmentálnym funkciám) vnímať iba čiastočne, ako hodnoty vzťahované k obmedzenému počtu tried priestorových jednotiek. V našom prípade sú nároky na organizáciu vstupov pre model FASOM dané kombináciou tried nadmorskej výšky, svahovitosti a pôdneho druhu tak ako je to uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Nároky modelu FASOM na organizáciu údajov

Charakteristika	Trieda (rozsah intervalu, charakteristika)
nadmorská výška [m]	1 (0 – 300), 2 (300 – 600), 3 (600 – 1100), 4 (1100 – 2500), 5 (> 2500),
svahovitosť [°]	1 (0 – 3), 2 (3 – 6), 3 (6 – 10), 4 (10 – 15), 5 (15 – 30), 6 (30 – 50), 7 (> 50)
pôdny druh	1 (piesočnatá), 2 (hlinitá), 3 (ílovitá), 4 (kamenitá), 5 (rašelina), 88 (bez pôdy)

Dostupné údaje s celosvetovým pokrytím

V celosvetovom pokrytí sú dostupné údaje z viacerých zdrojov. V nižšie uvedenom zozname (Tab. 2) sa sústredíme iba na tie, ktoré boli priamo využité pre zabezpečenie stanovených cieľov. Detailnejší popis údajov je uvedený v dokumente SKALSKÝ A I. (2008).

Uvedený výber bol realizovaný tak, aby dané údaje čo najvhodnejšie reprezentovali požiadavky modelovania (t.j. aby ich atribútová a priestorová rozlišovacia schopnosť a zároveň spôsob priestorovej reprezentácie boli čo najlepšie) a zároveň, uvažované boli iba údaje, ktoré sú dostupné z verejných domén alebo je ich možné získať na základe bezplatnej licencie.

Tab. 2 Identifikácia zdrojov údajov na celosvetovej úrovni

Údaje	Stručná charakteristika	Zdroj údajov alebo metadata
Tyndall	mesačný chod vybraných meteorologických charakteristík za obdobie 1901-2006, grid s rozlíšením 0.5°, celosvetové pokrytie (súš);	http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/grid/TYN_SC_2_0.html
GAUL	digitálna vrstva hraníc administratívnych jednotiek na úrovni štátu a prvej nižšej hierarchickej úrovne, celosvetové pokrytie (súš);	http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=12691&currTab=simple
GTOPO30	digitálny model terénu (nadmorská výška, [m]), raster s rozlíšením 30'', celosvetové pokrytie (súš);	http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html
SRTM	digitálny model terénu (nadmorská výška, [m]), raster s rozlíšením 3'', pokrytie (súš) 60°s. š. až 60°j.š.;	http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/
DSMW	digitálna verzia pôdnej mapy sveta v mierke 1:5.000.000, obsahuje údaje o pôdnych mapovacích jednotkách (pôdne komplexy) celosvetové pokrytie (súš);	http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116&currTab=simple

WISE	interpretácia DSMW a súboru analytických údajov o sondách, grid s rozlíšením 5', celosvetové pokrytie (súš), súčasťou databázy je súbor analytických vlastností pre pôdne jednotky (celkom 105);	http://www.isric.org/UK/About+Soils/Soil+data/Geographic+data/Global/WISE5by5minutes.htm
GLC2000	triedy krajinej pokrývky (celkom 21) v rastri s rozlíšením 32'', celosvetové pokrytie;	http://www.gvm.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm
GLU	štatistické údaje o plošnom zastúpení pestovateľských pôch 20 plodín [ha] v štyroch systémoch využívania krajiny vzťahované k elementom gridu s rozlíšením 5', celosvetové pokrytie (súš, orné pôdy)	(You, Wood, 2006), (údaje boli získané na základe osobnej komunikácie s Dr. Lingzhi You, IFPRI, Washington D.C.)

Návrh organizácie a spracovanie priestorových údajov

Detailný popis spracovania údajov je uvedený v dokumente SKALSKÝ A I. (2008) Na tomto mieste sa sústredíme iba na najdôležitejšie metodické momenty riešenej problematiky.

Ako základný rámec pre priestorovú harmonizáciu geografických údajov z viacerých zdrojov bol navrhnutý a vytvorený grid s priestorovým rozlíšením 5' (cca 10 km na rovníku) a celosvetovým pokrytím (súš). Presný rozsah gridu v pobrežných oblastiach bol daný prienikom všetkých uvažovaných vstupov (Tab. 2), tak aby sa v súbore nenachádzali elementy, pre ktoré nie sú dostupné niektoré údaje (ďalej ako 5' grid).

Vytvorený bol samostatný, avšak priestorovo korešpondujúci grid s priestorovým rozlíšením 0,5° (cca 50 km na rovníku) a celosvetovým pokrytím, ktorého rozsah bol definovaný tak, aby každý element gridu s rozlíšením 5' mohol byť lokalizovaný do niektorého elementu gridu s rozlíšením 0,5° (ďalej ako 0,5° grid).

Každému elementu gridu s rozlíšením 5' boli pomocou rôznych nástrojov priestorovej analýzy priradené nasledovné údaje:

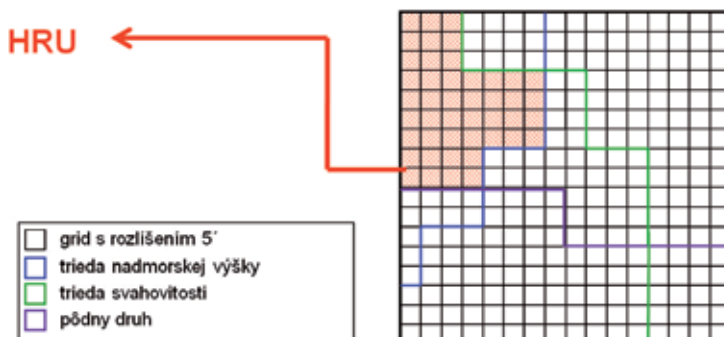
- Identifikátor korešpondujúceho elementu 0,5° gridu.
- Priestorovo korešpondujúca administratívna jednotka na úrovni štátu z údajov GAUL.
- Plošne dominantná trieda nadmorskej výšky z klasifikovaných údajov GTOPO30.
- Plošne dominantná trieda svahovitosti z klasifikovaných údajov SRTM a GTOPO30. Trieda svahovitosti bola pre rozsah 60°s.š. až 60°j.š. priradená priamo z údajov SRTM, pre ostatné územia bola trieda svahovitosti priradená z upravených hodnôt svahovitosti vyrátaných z GTOPO30 (pôvodná hodnota svahovitosti bola upravená na základe výsledkov analýzy frekvencie tried svahovitosti SRTM v rámci tried svahovitosti z GTOPO30 v priestore vzájomného prekrytia údajov).
- Pôdna mapovacia jednotka DSMW z ktorej bola v ďalšom kroku interpretovaná plošne dominantná trieda pôdneho druhu. Pre jednotlivé pôdne jednotky danej pôdnej mapovacej jednotky bol z databázy WISE interpretovaný profilovo dominantný pôdny druh. Výsledná trieda bola elementu 5' gridu priradená podľa plošne prevládajúceho pôdneho druhu v rámci mapovacej jednotky.
- Štatistické údaje o plošnom zastúpení tried krajinej pokrývky (orná pôda, trávne porasty, lesy, mokrade, nelesná prírodná vegetácia, iné) a pre ornú pôdu aj tried využívania krajiny (vysoké vstupy, vysoké vstupy zo závlahou, nízke vstupy, samozáso-

biteľské hospodárenie). Štatistické údaje o krajinnej pokrývke a využívaní ornej pôdy boli spracované ako kombinácia údajov GLC2000 (triedy krajinnej pokrývky) a GLU (korekcia výmery ornej pôdy a triedy využívania ornej pôdy).

Hlavným cieľom uvažovania HRU pri simuláciách je v našom prípade zabezpečiť priestor pre implementáciu alternatívnych scenárov vývoja klímy a využívania krajiny. Ďalšou dôležitou úlohou HRU v systéme modelovania je však zabezpečenie komunikácie medzi modelmi (EPIC, FASOM), preto pri priestorovej interpretácii HRU boli uvažované ako stabilné prvky premenné reliéfu (nadmorská výška, svahovitosť) a pôdy (pôdny druh) podľa stanovených nárokov modelu FASOM (Tab. 1).

Jednotlivé HRU boli priestorovo definované ako zóny 5´ gridu. Hranice zón a ich obsah sú dané prienikom hraníc zón 5´ gridu, ktoré vyjadrujú danú triedu triedy nadmorskej výšky, svahovitosti a pôdneho druhu (Obr. 1). Každému HRU bol priradený kód, ktorý vyjadruje triedu nadmorskej výšky (prvé miesto), svahovitosti (druhé miesto) a pôdneho druhu (tretie miesto). Pre HRU s triedou pôdy 88 bol priradený kód 88.

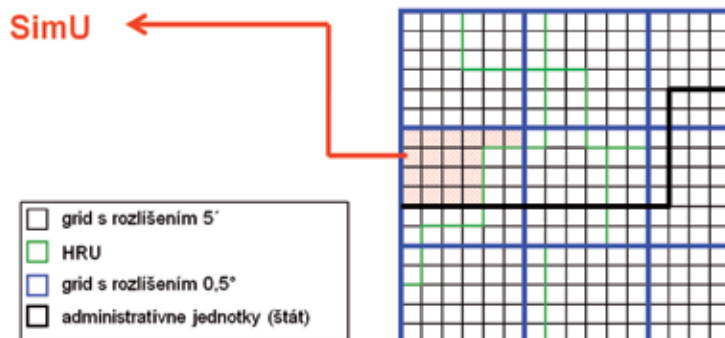
Obrázok 1 Schematické znázornenie spôsobu definovania a priestorového vyjadrenia HRU



Účelom SimU je sprostredkovať pre simulačný model priestorovo reprezentované vstupy (a umožniť priestorovú reprezentáciu výstupov). SimU (Obr. 2) boli s ohľadom na daný účel definované ako zóny 5´ gridu postupne vo viacerých krokoch:

- Primárne priestorové zóny boli vytvorené ako prienik HRU a elementu 0,5° gridu. Primárnym zónam boli priradené údaje o identifikácii 0,5° gridu, o nadmorskej výške (ako priemerná nadmorská výška z GTOPO30 pre primárnu zónu), svahovitosti (stredná hodnota intervalu triedy svahovitosti primárnej zóny) a pôdnej jednotke (ako plošne dominantná pôdna jednotka interpretovaná zo všetkých pôdnych mapovacích jednotiek príslušných do danej primárnej zóny).
- Ďalšou špecifikáciou primárnych zón pomocou hraníc administratívnych jednotiek boli vytvorené výsledné zóny pre priestorovú reprezentáciu obsahu SimU. Týmto zónam boli priradené štatistické údaje o triedach krajinnej pokrývky a triedach využívania ornej pôdy, ktoré boli získané ako súčet výmer daných tried v elementoch 5´ gridu príslušných do danej zóny.

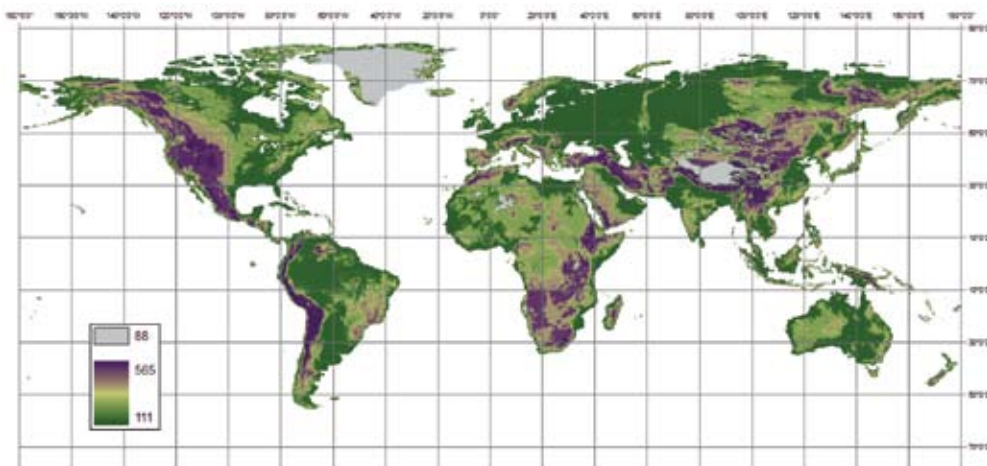
Obrázok 2 Schematické znázornenie spôsobu definovania a priestorového vyjadrenia SimU



VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledkom spracovania údajov bola georeferencovaná vrstva HRU a georeferencovaná vrstva pre priestorovú reprezentáciu obsahu SimU, obe vrstvy s celosvetovým pokrytím (súš, bez Antarktídy). Obe priestorové vrstvy predstavujú základný obsah geografickej databázy vstupov a výstupov modelovania. Kartografická vizualizácia vrstvy HRU je uvedená na obrázku 3.

Obrázok 3 Kartografická vizualizácia vrstvy HRU (kód HRU)



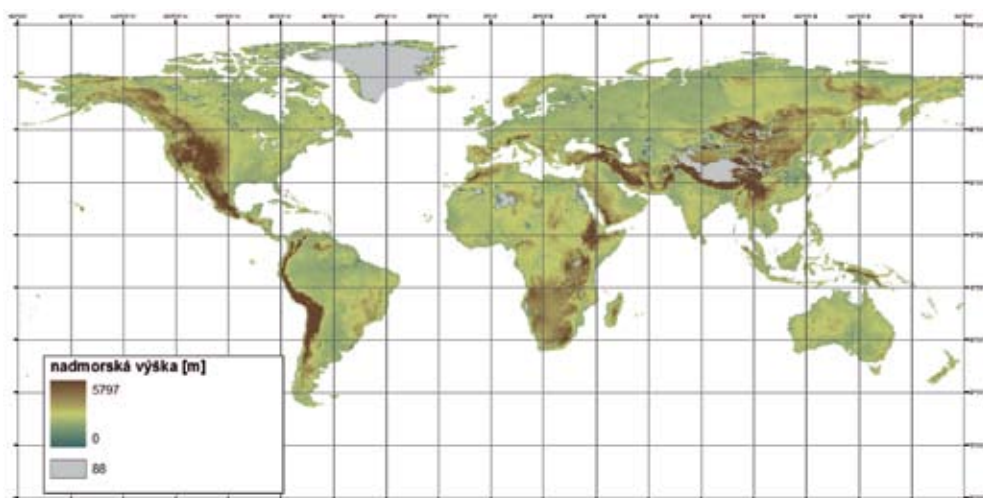
Z hľadiska zabezpečenia funkčnosti uvažovaného systému modelovania vytvorené vrstvy predstavujú nevyhnutnú podmienku pre priestorovo exaktné vyjadrenie a hodnotenie daných alternatív vývoja klímy a využívania krajiny v rámci uvažovaného systému modelovania (HRU) a zároveň nevyhnutnú podmienku pre priestorovú reprezentáciu vstupov pre modelovanie (SimU).

Jednotlivé obsahové zložky SimU vyjadrené atribútmi priradenými priestorovým jednotkám georeferencovanej vrstvy SimU predstavujú priamo vstupy pre model EPIC (priemerná

nadmorská výška – Obr. 4, hodnota svahovitosti) alebo priestorovú referenciu, ku ktorej môžu byť bezprostredne vzťahované konkrétne vstupné údaje:

- Identifikátor elementu 0,5° gridu umožňuje priestorovo reprezentovať údaje o počasí.
- Pôdna jednotka (Obr. 5) umožňuje priestorovo reprezentovať morfológické a analytické údaje o pôde.
- Kombinácia administratívnej jednotky na úrovni štátu a triedy krajinej pokrývky, resp. aj triedy využívania ornej pôdy (Obr. 6) umožňuje priestorovo reprezentovať údaje o manažmente krajiny.

Obrázok 4 Kartografická vizualizácia priemernej nadmorskej výšky pre SimU



Formálnym nedostatkom vytvorenej vrstvy SimU, ktorá sa môže prejaviť pri niektorých analýzach vstupov a výstupov modelovania je, že prostredníctvom tejto priestorovej jednotky nie je možné reprezentovať úplný obsah SimU.

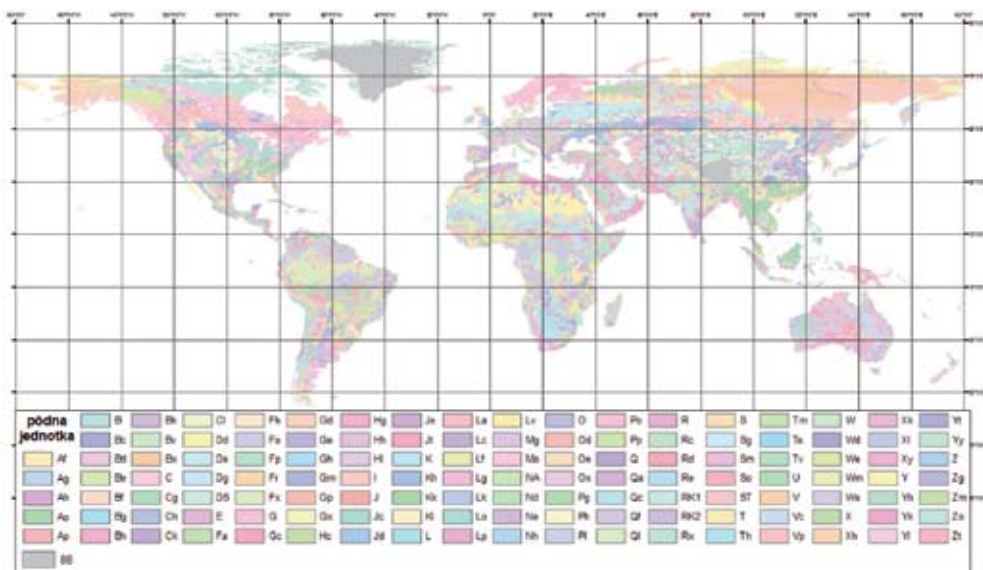
Je to dané charakterom vstupných údajov o krajinej pokrývke a využívaní krajiny, ktoré nevyjadrujú priestorovo exaktne každú triedu, ale pre daný plošný element alebo priestorovú jednotku vyjadrujú iba prítomnosť a plošné zastúpenie viacerých uvažovaných tried (geokódované štatistické údaje).

Vzniká tak určitá nerovnováha medzi priestorovým vyjadrením najmenej obsahovej jednotky organizácie údajov pre simulačný model EPIC a jej reálnym obsahom, ktorý na najdetailnejšej úrovni nemôže byť v priestore vnímaný exaktne.

Dôležitú konceptuálnu úlohu v spracovaní vrstvy priestorových jednotiek SimU mal 0,5° grid, ktorý okrem priamej priestorovej referencie pre údaje o počasí predstavoval interpretačný rámec pre priradenie niektorých charakteristík krajiny (nadmorské výšky, pôdna jednotka) pre priestorové jednotky (SimU). Interpretačný rámec umožnil rozdeliť územie kontinentov na plošne rovnomerné zóny a týmto spôsobom dovolil zachovať v interpretáciách lokálny detail.

Tento metodický moment je veľmi dôležitý z hľadiska výslednej kvality vstupov pre model EPIC, pretože ak by na tejto úrovni boli uvažované iba samotné HRU bola by interpretácia (napr. pôdnej jednotky) realizovaná pre často obrovské zóny (Obr. 3), v rámci ktorých, sa môžu uplatňovať relatívne pestré prírodné podmienky dané variabilitou georeliéfu a vlastností pôdy. Aj v prípade stratifikácie týchto zón (HRU) iba pomocou hraníc administratívnych jednotiek na úrovni štátu, by tento problém nebol vhodne riešený, a to najmä pre veľké štáty ako Rusko, Kanada, Čína, India a pod.. V tomto prípade by vznikli plošne neporovnateľné (napr. Izrael v porovnaní s Ukrajinou) a navyše tiež iba umelo definované zóny.

Obrázok 5 Kartografická vizualizácia dominantnej pôdnej jednotky pre SimU



Na metodologickej úrovni prináša riešenie SimU na celosvetovej úrovni zaujímavý problém. Tým je rozpor medzi požiadavkami modelu (vo všeobecnosti simulačného modelu ekosystému) a reálnou možnosťou zabezpečenia priestorovo reprezentovaných vstupov.

Simulačný model aplikovaný v geografickom kontexte uvažuje v rámci nejakej priestorovej jednotky stav, pri ktorom sú všetky charakteristiky ekosystému (krajiny) v rámci tejto jednotky homogénne. Navyše, implicitne je uvažovaný aj vzájomný nenáhodný vzťah prvkov (ich stavov) jednotlivých uvažovaných zložiek krajiny v rámci danej, vnútorne homogénnej priestorovej jednotky (topické väzby, cf. KRCHO, 1990; MINAR A I., 2001)

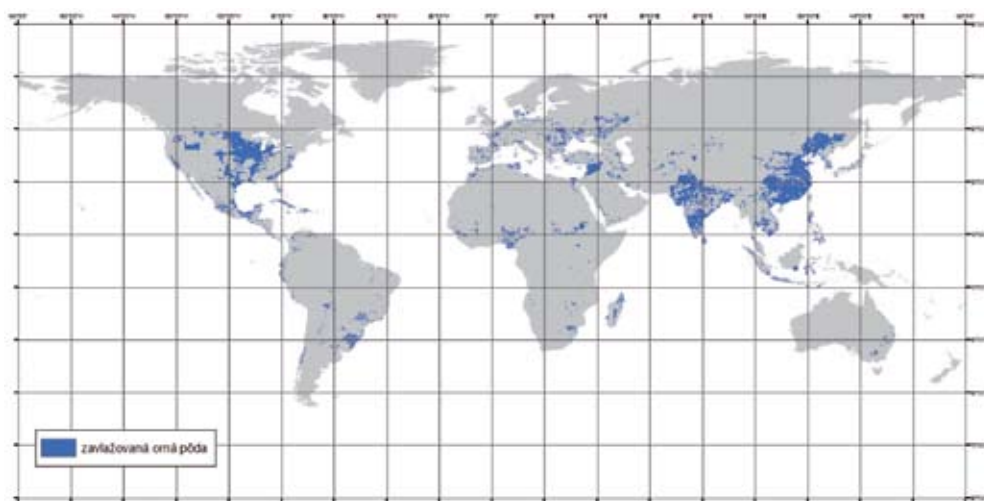
Na druhej strane, údaje ktoré sú uvažované na celosvetovej úrovni, ich priestorový a atribútový detail v podstate neumožňuje špecifikovať vnútorne homogénne jednotky. Väčšina vstupov, a zákonite potom aj výstupy interpretácie v podobe priestorovo reprezentovaných vstupov pre model (SimU), majú charakter komplexných priestorových jednotiek (mezo- až makrogeochóry), ktoré na úrovni svojho obsahu predstavujú vnútorne heterogénne jednotky.

Tento problém sme na konceptuálnej a následne aj na realizačnej úrovni sčasti vyriešili tým, že namiesto reálne homogénnych jednotiek, sme pri účelovej geoeekologickej analýze

vstupov uvažovali „kvázi-homogénne“ jednotky, t.j. jednotky, ktorých obsah je síce reálne vnútorne komplexný, heterogénny, boli formálne reprezentované ako jednotky vnútorne homogénne (charakterizované jednou špecifickou kombináciou stavov). Táto špecifická kombinácia stavov stavebných prvkov uvažovaných zložiek krajiny v rámci priestorových jednotiek (HRU, SimU) bola stanovená ako najpravdepodobnejšia kombinácia, t.j. ako reprezentatívne boli uvažované vždy triedy s dominantným plošným zastúpením (nadmorská výška, svahovitosť, pôdny druh, pôdna jednotka).

Limitom aplikovaného prístupu je však to, že vzhľadom na izolovanú analýzu jednotlivých vstupov (georeliéf, pôda, krajinná pokrývka, využitie pôdy) nebolo možné exaktne uvažovať topické väzby medzi prvkami zložiek krajiny a týmto spôsobom mohli byť interpretované aj neexistujúce kombinácie (napr. dominantný typ georeliéfu je pahorkatina, dominantná pôdna jednotka fluvizem).

Obrázok 6 Kartografická vizualizácia priestorovej distribúcie zavlažovanej ornej pôdy



Ak porovnáваме nami vytvorený metodický postup tvorby priestorovo reprezentovaných vstupov pre simulačné modelovanie ekosystému (krajiny) na celosvetovej úrovni s niektorými existujúcimi prístupmi (TAN, SHIBASAKI, 2003; STEHFEST A I., 2007; LIU A I., 2007) je možné konštatovať, že nami vytvorený postup najlepšie rešpektuje požiadavku účelovej geoekologickej analýzy ako metodického rámca pre návrh a realizáciu systému organizácie priestorovo reprezentovaných vstupov a výstupov simulačného modelovania.

Všetky vyššie uvedené prístupy totiž pracujú na báze priestorových elementov gridu alebo rastra (nie zón) s rôznym rozlíšením, pričom interpretácii vstupov (o georeliéfe, pôde) venujú iba povrchnú pozornosť a explicitne na konceptuálnej ani realizačnej úrovni neuvažujú problém homogénnosti vstupov a podobne ako v našom prípade, ani topické väzby medzi prvkami uvažovaných zložiek ekosystému (krajiny) v rámci.

V porovnaní s komplexnejšími systémami modelovania (LEIP A I., 2008), ale najmä v porovnaní so systémom modelovania vytvoreným SCHMIDOM A I. (2007), cf. aj BALKOVIČ A I. (2006, 2007),

ktorý na konceptuálnej úrovni tvoril východisko uvažovania HRU a SimU, prístup prezentovaný v tomto príspevku predstavuje modifikáciu konceptuálneho uvažovania systému modelovania v kontexte potreby jeho realizácie na celosvetovej úrovni a z hľadiska organizácie údajov zároveň predstavuje určité zjednodušenie konkrétnej realizácie a obsahu HRU a SimU dané reálnymi možnosťami v dostupnosti vhodných údajových vstupov na celosvetovej úrovni.

ZÁVER

Na báze uvažovania dostupných vstupov a nárokov systému modelovania (modelovanie súčasných a alternatívnych hodnôt environmentálnych indikátorov pre globálny ekonomický optimalizačný model využívania krajiny) sme na báze výsledkov skorších prác (BALKOVIČ A I., 2006, 2007; SCHMID A I., 2007) navrhli konceptuálny rámec pre priestorovú organizáciu vstupov a výstupov modelovania na celosvetovej úrovni. Vytvorený koncept sme realizovali v podobe geo-referencovaných vrstiev HRU a SimU.

Spracovaná vrstva HRU umožňuje v rámci systému modelovania realizovať simulácie s alternatívnymi vstupmi (scenáre zmeny klímy a využívania krajiny) a alternatívne výsledky komunikovať s ekonomickými optimalizačným modelom (FASOM). Vrstva SimU vytvára rámec pre priestorovú organizáciu vstupov o počasí, georeliéfe, pôde a manažmente ekosystému (krajiny) pre simulačný model ekosystému (EPIC).

Formálna stránka organizácie a priestorovej reprezentácia geografických údajov bola zabezpečená prostredníctvom zón pravidelného gridu s rozlíšením 5'. Grid s rozlíšením 5' zároveň slúžil ako rámec pre priestorovú harmonizáciu vstupov pre modelovanie, ktoré boli získané v rôznej kvalite z viacerých zdrojov.

S ohľadom na možnosti a dostupnosť údajov o krajine na celosvetovej úrovni spracované vrstvy vhodne odrážajú potreby systému modelovania a určitým spôsobom, aj keď v zjednodušenej forme aproximujú riešenie systému modelovania spracované na Európskej úrovni (BALKOVIČ A I., 2006, 2007; SCHMID A I., 2007).

V porovnaní s niektorými existujúcimi realizáciami organizácie vstupov pre simulačné modelovanie ekosystému (krajiny) na celosvetovej úrovni prinášame na metodologickej úrovni niektoré nové riešenia, ktoré súvisia s uvažovaním geoekologickej analýzy ako nevyhnutného predpokladu zabezpečenia priestorovo reprezentovaných vstupov pre simulačný model.

LITERATÚRA

- ADAMS, D.M. A I. 1996. *The forest and agricultural sector optimization model (FASOM): model structure and policy applications*. Res. Pap. PNW-RP-495, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station., 1996, 60 s.
- BALKOVIČ, J., a i. 2006. *Biophysical modelling for evaluating soil carbon sequestration potentials on arable land in the pilot area Baden-Württemberg (Germany)*. Agriculture, Roč. 52, 2006, č. 4, s. 169–176
- BALKOVIČ, J., A I. 2007. *Data processing*. In Stolbovoy, V., Montanarella, L., Panagos, P. (Eds.). Carbon Sing Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification. JRC Scientific and Technical Reports. (EUR 23037 EN), Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community, 2007, p. 74-139 ISBN 978-92-79-07691-6

- IZAURREALDE, R.C., A. I. 2006. *Simulating soil C dynamics with EPIC: model description and testing against long-term data*. Ecological Modelling, Vol. 192, p. 362-384
- JUSTICE C.O. - BECKER-RESHEF, I. (EDS.) 2007. *Report from the Workshop on Developing a Strategy for Global Agricultural Monitoring in the framework of Group on Earth Observations (GEO)*, Maryland: University of Maryland, 66 p. Dostupné na internete: <ftp://ftp.iluci.org/GEO_Ag>
- KRCHO, J., 1990. *Morfometrická analýza a digitálne modely reliéfu*. Bratislava: VEDA, 427 s. ISBN 80-224-0018-1
- LEIP, A. A. I. 2008. *Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe*. Biogeosciences. Vol. 5, 2008, p. 73–94
- LIU, J., A. I. 2007. *GEPIC – modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale*. Agricultural Systems, Vol. 94, 2007, No. 2, p. 478-493
- MICIAN, L. - ZATKALIK, F. 1986. *Núka o krajine a starostlivosť o životné prostredie*. Vysokoškolské skriptá, Bratislava: PrIF UK, 1986, 137 s.
- MICIETOVÁ, E. 1999. *Kvalita, funkcie a operačné možnosti databázy geografického informačného systému*. Geografický Časopis, Roč. 51, 1999, č. 3, s. 297–312
- MINÁR, J., A. I. 2001. *Geoekologický (komplexný fyzikogeografický) výskum a mapovanie vo veľkých mierkach*. Geografické spektrum 3/2001. Bratislava: Geografika, 210 s. ISBN 80-968146-3-X
- ROSSITER, D.G. 2003. *Biophysical models in land evaluation*. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), 2003, 16 s. Dostupné na internete: <www.itc.nl/~rossiter/Docs/EOLSS_1527_Preprint.pdf >
- SCHMID, E. A. I. 2007. *Biophysical impact assessment of crop land management strategies in EU25 using EPIC*. In Stolbovoy, V., Montanarella, L., Panagos, P. (Eds.) Carbon Sing Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification. JRC Scientific and Technical Reports. (EUR 23037 EN), Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community, 2007, p. 160-183 ISBN 978-92-79-07691-6
- SKALSKÝ, R. A. I. 2007. *Vybrané teoretické aspekty aplikácie simulačných modelov system pôda-rastlina-atmosféra v geografickom kontexte*. In Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra. Zborník z 15. Posterového dňa s medzinárodnou účasťou. [CD ROM], Bratislava: Ústav hydrológie SAV, 2007, s. 569–574, ISBN 978-80-89139-13-2
- SKALSKÝ, R., A. I. 2008. *Geo-bene global database for bio-physical modeling v. 1.0. Concepts, methodologies and data*. Technical report. Laxemburg: IIASA, 2008, 57 p.
- STEHFEST, E. A. I. 2007. *Simulation of global crop production with the ecosystem model DayCent*. Ecological Modelling, Vol. 209, 2007, No. 2-4, p. 203 - 219
- TAN, G. - SHIBASAKI, R. 2003. *Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration*. Ecological Modelling, Vol. 168, 2003, p. 357-307.
- URBÁNEK, J. 2006. *Krajinné syntézy*. Geografický časopis, Roč. 58, 2006, č. 2, s. 85–98
- WILLIAMS, J.R. 1995. *The EPIC Model*. In Computer Models of Watershed Hydrology (Ed. V.P. Singh). Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 1995, p. 909-1000.
- YOU, L. - WOOD, S. 2006. *An entropy approach to spatial disaggregation of agricultural production*. Agricultural Systems, Vol. 90, 2006, No. 1-3, p. 329-347
-

KULTIZEME SLOVENSKA A ICH POROVNANIE S ANTROSOLMI (WRB 2006)

KULTIZEMS IN SLOVAKIA AND THEIR CORRELATION WITH ANTHROSOLS (WRB 2006)

Jaroslava SOBOCKÁ

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

Abstrakt

Vo svete existuje veľké množstvo klasifikačných systémov, ktoré sú výsledkom rôznorodých klasifikačných koncepcií a interpretácií. Korelácia národných klasifikačných systémov so svetovým referenčným systémom (WRB, 2006) má svoje výhody: v porovnaní chápania objektu klasifikácie, v poznaní hlavných diagnostických znakov ako sú diagnostické horizonty a vlastnosti, v možnosti ďalšieho vývoja a spresnenia klasifikačných kritérií. V neposlednom rade môže napomôcť k novej revízií existujúcich klasifikácií, ktoré daný systém sprehľadnia a poskytnú detailnejšie informácie pre samotný proces klasifikácie. V príspevku porovnáваме pôdnu skupinu antrosolov, ktorá je uvedená v poslednom vydaní WRB (2006) s kultizemami v Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd SR (2000). Tieto skupiny pôd možno považovať za podobné, hoci nie identické. Kultizeme v MKSP 2000 sú definované ako človekom pretvorené pôdy a diagnostikované na základe kultizemného melioračného Akm-horizontu s hrúbkou > 35 cm a ktoré majú znaky intenzívnej kultivácie alebo prímies zúrodňovacích komponentov. Antrosoly sú definované ako pôdy, ktoré sú modifikované do hĺbky v dôsledku ľudských aktivít, ktoré zahrňujú dodanie organických látok alebo domáceho odpadu do pôdy, zavlažovanie a zúrodňovanie. Detailne sme preskúmali a porovnali diagnostické znaky oboch pôdnych skupín, pôdnych typov vrátane porovnania objektov klasifikácie pôd. Pôdne typy WRB 2006, ktoré sa na Slovensku nevyskytujú sme spomenuli len okrajovo.

Kľúčové slová: klasifikácia pôd, korelácia, kultizem, antrosol, WRB 2006, MKKSP 2000

Abstract

There are a lot of classification systems over the world, which can be a result of various classification concepts and interpretations. Correlation of a national classification systems with the World Reference Base (WRB, 2006) has some advantages: to compare a perceiving of classification object, to highlight the main diagnostic features like diagnostic horizons and properties, to facilitate better development and refinement of classification criteria. Last but not least it can be helpful in some revision of existing classifications, which may the system more specify and provide detailing information for itself classification procedure. In the paper a comparison of the soil group of Anthrosols included in the latest WRB (2006) with one of Kultizems to be

involved in the Morphogenetic soil classification system of Slovakia (2000). These soil groups can be considered as similar but not identical. Kultizems in the MSCS, 2000) are defined as by human induced soils and diagnosed on the base of the kultizemic amelioration Akm-horizon with > 35 cm thickness having features of intensive cultivation or addition of fertilizers. Anthrosols are defined as soils profoundly modified as results of human activities, which include addition of organic materials or household waste into soil, irrigation and fertilization. We have investigated and compared in detail diagnostic features of both soil groups and soil types including correlation of classification objects in both systems. Soil types in the WRB 2006 not occurring in Slovakia were presented only marginally.

Keywords: soil classification, correlation, Kultizem, Anthrosol, WRB 2006, MKKSP 2000

ÚVOD

Mnohostranný vplyv človeka na pôdu – priamy či nepriamy, postavil nový problém, ako klasifikovať a mapovať nové získané vlastnosti pôd. Napriek poznatkom, že mnohé nadobudnuté vlastnosti pôd v dôsledku antropických zásahov zásadne menia charakter pôvodnej prírodnej pôdy, typologické a klasifikačné dôsledky doteraz sa riešili opatrne a pomaly. V súčasnosti pôdy antropicky postihnuté môžeme zaradiť do týchto kategórií:

- pôdy človekom pozmenené;
- pôdy človekom pretvorené;
- pôdy človekom vytvorené.

V priebehu posledných 20 rokov sa objavilo mnoho klasifikácií, ktoré sa zaoberali klasifikáciou antropogénnych pôd. V mnohých systémoch sa uvažuje o jednej skupine antropogénnych pôd bez rozlíšenia spôsobu, či formy antropogénneho zásahu. To znamená, že také klasifikačné systémy nerozlišujú pôdy kultivované a pôdy antrozemné (DBG, 1998; BLAIZE, 1998; WRB, 1998), v niektorých systémoch antropogénne pôdy úplne absentujú (AHRENS, ENGEL, 1999), alebo sú rozlíšené na dve skupiny pôd, z ktorých jedna predstavuje pôdy kultivované (ŠIŠOV, TONKONOGOV, LEBEDEV, 2001) a druhá pôdy umelé – technogénne (TONKONOGOV, LEBEDEV, 1999; STROGANOVA, A. I., 1998; ROSSITER, 2007). Morfogenetický klasifikačný systém pôd ako 10. pôdnu skupinu pomenúva antropické pôdy a dvoma pôdnymi typmi a to kultizeme a antrozeme (SOBOCKÁ, 2000, SOBOCKÁ A I., 2000).

SOBOCKÁ (2003) navrhla rozlíšiť dva terminologické pojmy, ktoré sa objavili v pedologickej literatúre pre pôdy uvažované ako pôdy postihnuté, či ovplyvnené antropickými činiteľmi: antropogénna pôda a urbánna pôda. Termín „antropogénna pôda“ je vyhradený len pre pôdy, ktoré sú klasifikované ako antropogénne pôdy. To znamená, že pôdy majú také diagnostické horizonty a vlastnosti, ktoré ju jednoznačne zaraďujú do skupiny pôd antropogénnych. „Urbánne pôdy“ môžu a nemusia byť antropogénne, nakoľko ich výskyt je viazaný na urbanizované a priemyselné prostredie s rôznym stupňom antropogénneho ovplyvnenia (BURGHARDT, 1994).

V príspevku sa zaoberáme koreláciou (porovnaním) pôdných typov dvoch klasifikačných systémov pôd: kultizemí v Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd SR – ďalej MKSP 2000

(Kolektív 2000) a a antrololov vo svetovej referenčnej báze World reference base – ďalej len WRB 2006 (IUSS WORKING GROUP WRB, 2006).

MATERIÁL A METÓDY

Klasifikácia pôd je proces (postup, procedúra) zoskupovania pôdnych objektov do viac alebo menej homogénnych skupín, pri ktorom sa rešpektujú definované kritériá.

Kultizeme (MKSP, 2000) majú melioračné pretvorenie pôdneho profilu rôznou fyzikálnou, chemickou a biologickou kultiváciou – záhradkárstvom, rigolovaním, terasovaním, ap. Všetky tieto ľudské činnosti zlepšujú pôdne vlastnosti a zvyšujú produkčné predpoklady. Tieto pôdy môžeme identifikovať len v poľnohospodárskej krajine s dlhodobou kultiváciou ako pôdy hlboko transformované, záhradné pôdy, alebo pôdy špeciálnych kultúr ako sú vinice, sady. Pôdy sa vyznačujú hlbokou melioráciou a homogenizáciou pôdneho profilu.

Antrosoly (WRB, 2006) z gréc. anthropos = ľudský sú pôdy s charakteristikami, ktoré sú výsledkom ľudských aktivít. Sú modifikované do určitej hĺbky profilu a zahrňujú dodanie organických látok alebo domáceho odpadu do pôdy, zavlážovanie a zúrodňovanie. Skupina zahrňuje pôdy inak známe ako: plaggenové pôdy, ryžové („paddy“) pôdy, oázové pôdy, Terra Preta do Indo (Brazília), agrozeme (Rusko), terestrické antropogénne pôdy (Nemecko), antroposoly (Austrália) a antrosoly (Čína). Sú tvorené na prakticky akomkoľvek pôdotvornom materiáli, ktorý je modifikovaný dlhodobou kultiváciou alebo dodaním iného materiálu. Vyskytujú sa takmer vo všetkých regiónoch sveta, ktoré sú poľnohospodársky využívané počas dlhého obdobia. Vo vývoji profilu je vplyv človeka obvykle ohraničený na povrchové horizonty.

Diagnostický horizont a klasifikácia kultizemí

Podľa Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (KOLEKTÍV 2000, SOBOCKÁ ET AL. 2000) skupinu pôd antropických tvoria „pôdy s výrazným antropickým (kultivačným či degradačným) pôdotvorným procesom“. Zaraďujeme sem kultizeme a antrozeme. Kultizemný horizont Ak je povrchový humusový horizont pretvorený obrábaním, hnojením alebo inými kultivačnými zásahmi človeka s rôznymi vlastnosťami, ktorý má:

- a) hrúbku > 10 cm,
- b) obsah organického C > 0,3 %,
- c) možný výskyt podpovrchových horizontov a/alebo artefaktov,
- d) aspoň jednu z nasledujúcich vlastností:
 1. znaky kultivácie (homogenizácia vrstvy, zreteľný až ostrý prechod, svetlejšia farba horizontu ako podložný horizont, zhutnenie na jeho spodnej hranici),
 2. prímies agrochemikálií, vápenca, maštalného hnoja a iných organo-minerálnych zúrodňovacích komponentov.

Variety horizontu:

Kultizemný ornícový Akp - má aspoň jednu z vlastností d) v hĺbke 10 - 35 cm.

Kultizemný melioračný Akm - má aspoň jednu z vlastností d) v hĺbke > 35 cm.

Pôdy s kultizemným melioračným A-horizontom > 35 cm, alebo aj so zvyškom pôvodného diagnostického horizontu hrúbky > 10 cm:

- bez ďalších diagnostických horizontov alebo aj s náznakmi diagnostických horizontov hrúbky < 10 cm... modálna (KTm)
- so zvyškom molického Am-horizontu... černozečná (KTb)
- so zvyškom molického čiernicového Amč-horizontu... čiernicová (KTč)
- so zvyškom luvického Bt-horizontu... hnedozečná (KTh)
- so zvyškom eluviálneho luvického El-horizontu nad luvickým Bt-horizontom... luvizemná (KTI)
- so zvyškom kambického Bv-horizontu... kambizečná (KTK)
- so zvyškom mramorovaného Bg-horizontu... pseudoglejová (KTg)
- so zvyškom glejového G-horizontu... glejová (KTG)
- so zvyškom slaniskového S-horizontu... slanisková (KTS)
- so zvyškom slanového Bn-horizontu... slanová (KTc)

Kultizemný horizont možno ďalej členiť na subvariety: ochrický (o), umbrický (u), molický (m) a melanický (a). Pre ďalšiu klasifikáciu možno použiť variety: kyslá, karbonátová, alkalická a kontaminovaná. Ako formy kultizemí sú vyčlenené: záhradná, rigolovaná a terasovaná.

Diagnostické horizonty a klasifikácia antrosolov

Podľa kľúča referenčných pôdnych skupín WRB sú antrosoly pôdy so silným ľudským vplyvom s dlhodobým a intenzívnym poľnohospodárskym využívaním. Vzhľadom na to, že sa tieto pôdy vyskytujú vo všetkých klimatických pásmach, spomenieme len tie diagnostické horizonty, ktoré sa vyskytujú v miernom klimatickom pásme.

Antrický horizont (z gréc. *anthropos* = človek) je minerálny, stredne hrubý, tmavofarbený povrchový horizont, ktorý je výsledkom dlhobodej kultivácie pôdy (vrstva, vápnenie, zúrodňovanie, atď.). Ma tieto diagnostické kritéria:

1. má farbu, štruktúru a požiadavky na organickú hmotu molického alebo umbrického horizontu
2. má známky ľudského ovplyvnenia (porušenia), kedy má jednu alebo viacero vlastností:
 - a) ostrá spodná hranica pri určitej hĺbke pôdy, ornícový pan; alebo
 - b) fragmenty aplikovaného vápna; alebo
 - c) miešanie pôdnych vrstiev kultiváciou; alebo
 - d) 1,5 kg.kg⁻¹ alebo viac P₂O₅ rozpustného v 1% kyseliny citrónovej; a
3. má menej ako 5 % (obj.) pórov po zvieratách, koprolity alebo iné stopy po aktivite pôdnej fauny pod hĺbkou vrstvy; a
4. má hrúbku 20 cm a viac.

Antrické horizonty sú spojené s nepretržite oranými pôdami, ktoré boli kultivované v priebehu storočí. Hlavnými kritériami pre rozlíšenie sú známky zmiešania alebo kultivácie, dôkazy po vápnení (napr. zvyšky aplikovaného vápna) a ich tmavá farba. Môžu sa podobať, alebo prekryvať s molickými alebo umbrickými horizontmi. Napr. sa môžu vyvinúť z umbrických ho-

rizontov v dôsledku vápnenia. Nasýtenosť bázami je vysoká, čo ich odlišuje od umbrických horizontov.

Hortický horizont (z lat. *hortus* = záhrada) je človekom ovplyvnený minerálny povrchový horizont, ktorý je výsledkom hlbkej kultivácie, intenzívnej fertilizácie alebo dlhodobej aplikácie ľudských alebo živočíšnych odpadov a iných organických zvyškov (napr. hnojenie, domáci odpad, kompost). Ma tieto diagnostické kritériá:

1. Munsellove farebné *value* a *chroma* (aspoň) tri alebo menej;
2. priemerný vážený obsah organického uhlíka 1% a viac; a
3. 0,5M NaHCO₃ obsahu extrahovaného P₂O₅ v 100mg.kg⁻¹ jemnozeme a viac vo vrchnej vrstve 25 cm; a
4. nasýtenosť bázami (v 1M NH₄OA_c) 50 % a viac; a
5. 25 % (obj.) a viac živočíšnych pórov, koprolitov a ostatných stôp aktivity pôdnej fauny; a
6. hrúbku 20 cm a viac.

Hortické horizonty sú veľmi blízke molickým horizontom. Preto vplyv človeka musí byť jasne deklarovaný, aby bolo možné oba diagnostické horizonty odlišiť

Irragrický horizont (z lat. *irrigare* = zavlažovať a *ager* = pole) je človekom ovplyvnený minerálny povrchový horizont, ktorý sa vytvára postupne nepretržitou aplikáciou závlahovej vody s významným množstvom sedimentov, ktoré môžu obsahovať hnojivá, rozpustné soli, organický materiál atď. Pôdy s irragrickým horizontom vykazujú známky zdvíhania povrchu, čo možno usudzovať z terénneho pozorovania alebo na základe historických záznamov. Irragrické horizonty sa odlišujú od fluvického horizontu tým, že nemajú známky stratifikácie v dôsledku nepretržitej orby.

Plaggický horizont (z lat. *plag* = mačina) je čierny alebo hnedý človekom ovplyvnený minerálny povrchový horizont, ktorý bol vytvorený dlhodobým hnojením. V stredoveku mačina a ostatné materiály sa využívali pre podstielku dobytky a hnoj sa využíval pre zúrodnenie poľí. Minerálne materiály boli súčasťou tohto druhu hnojenia a produkovali evidentne hrubý horizont (niekedy až 100 cm a viac), ktorý je obohatený o organický uhlík. Nasýtenosť bázami je typicky nízka, t.j. reakcia je slabo až silne kyslá. Má známky poľnohospodárskych operácií ako sú znaky rýľovania ako aj staré kultivované vrstvy a povrchy. Plaggické horizonty bežne prekrývajú pochované pôdy hoci pôvodné povrchové vrstvy môžu byť zmiešané. Spodná hranica je typicky zreteľná.

Terrický horizont (z lat. *terra* = zem) je človekom ovplyvnený minerálny povrchový horizont, ktorý sa vyvíja v dôsledku dodávania zemitých hnojív, kompostu, plážového piesku alebo blata v priebehu dlhej doby. Vytvára sa postupne a môže obsahovať náhodne rozmiestnený skelet. Ako diagnostické kritériá sú tieto:

1. farba je podobná ako pôdotvorný materiál; a
2. obsahuje menej ako 20 % artefaktov (obj.); a
3. má nasýtenie bázami (v 1M NH₄OA_c) 50 % a viac; a
4. vyskytuje sa lokálne na vyvýšenom povrchu krajiny; a
5. nemá známky stratifikácie ale má nepravidelnú textúrnú diferenciaciu; a

6. má litologickú diskontinuitu podložja; a
7. má hrúbku 20 cm a viac.

Pôdy s terrickým horizontom sú na vyvýšených povrchoch, čo možno odvodiť od z historických záznamov, nie sú homogénne, subhorizonty sú všade zmiešané. Obsahujú artefakty ako úlomky keramiky, kultúrne fragmenty a odpad, ktorý je typicky veľmi malý a obrúsený.

Niekoľko vlastností odlišuje plaggický horizont od terrického. Terrické horizonty majú obyčajne vysokú biologickú aktivitu, majú neutrálnu až slabo alkalickú pôdnu reakciu (pH v H₂O je normálne viac ako 7,0) a absorbujú voľné vápno.

Z hľadiska klasifikácie sú antrosoly pôdy, ktoré majú

1. buď hortický, irragrický, plaggický, alebo terrický horizont 50 cm a viac hrubý; alebo
2. antrakvický horizont a podložný hydragrický horizont s kombinovanou hrúbkou 50 cm a viac (tieto horizonty sú pre diagnostiku ryžových pôd a preto ich detailne neuvádzame).

Pre antrosoly na druhej rozlišovacej úrovni sú uvádzané prefixy a sufixy (*qualifiers*):

Prefixy: hydragrický, irragrický, terrický, plaggický, hortický, eskalický, technický, fluvický, salický, glejický, stagnický, spodický, ferralický, regický.

Suffixy: sodický, alkalický, dystrický, eutrický, oxyakvický, arenický, siltický, akvický, novický.

Suffixy a prefixy sú vo WRB 2006 podrobne charakterizované. Zatiaľ čo prefixy predstavujú prechodné vlastnosti k iným pôdnym typom, suffixy možno použiť pre charakteristiku chemických a fyzikálnych vlastností.

Kolluvický materiál

Kolluvický (z lat. *colluere* = myť) materiál je vytvorený sedimentáciou človekom zapríčinenou eróziou. Obyčajne sa akumuluje na úpätných polohách, v depresiách alebo na bariére v krajine. Erózia môže pôsobiť už od neolitu. Vrchná časť kolluvického materiálu vykazuje znaky (textúra, farba, pH a obsah organickej hmoty) je podobný povrchovej vrstve materiálu zo sedimentu. Veľa kolluvických materiálov má artefakty ako sú kúsky tehly, keramiky a skla. Bežná je stratifikácia, hoci je ťažko zistiteľná a veľa kolluvických materiálov má litologické diskontinuity na jej báze.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Objekt klasifikácie pôd

Objekt klasifikácie MKSP 2000 (SOBOČKÁ, 2000) je pôda ako najvrchnejšia časť zemskej kôry, ktorá vzniká na styku a za pôsobenia biosféry, atmosféry, litosféry a hydrosféry a s ktorými má sústavnú látkovú a energetickú výmenu. Umožňuje rast rastlín a ďalšie funkcie. Ostatné časti zemskeho povrchu pôdou v tomto ponímaní nie sú.

Treba poznamenať, že táto definícia predmetu klasifikácie v MKSP 2000 nezahrňuje objekty pod silným antropickým (či antropogénnym vplyvom). To znamená, že kultizeme a antropizeme by tam ani nemali byť. Najnovšie definície pôd vo svete zdôrazňujú nielen ich prírodnú podstatu, ale aj pôsobenie človeka na pôdu ako socio-ekonomického faktora. V tomto chápaní

sme definíciu pôdy spresnili: „Pôda je najvrchnejšia časť zemskej kôry, ktorá vzniká na styku a za pôsobenia biosféry, atmosféry, litosféry, hydrosféry a sociosféry (antroposféry, noosféry), s ktorými má sústavnú látkovú a energetickú výmenu...“.

V súčasnosti NACHTERGAELE (2005) preformuloval otázku „čo je pôda?“ do praktickejšej otázky „čo by mal pôdoznalec študovať?“ Vytvára určitý prechod pôdoznanectva do vedy o epidermickom materiáli, čo je z hľadiska pôdnej klasifikácie a mapovania veľká výhoda. To znamená, že pôdoznalec môže pomenovať všetky telesá na povrchu Zeme, ktoré vytvárajú prienik medzi atmosférou, hydrosférou, litosférou, biosférou a antroposférou. Takto môže pracovať s environmentálnymi zdrojmi, ktoré sú označené ako povrchová zóna prieniku jednotlivých sfér – t.j. objekt pôdoznanectva je chápaný ako *epiderma* Zeme. NACHTERGAELE (2005) ďalej rozdeľuje epidermu Zeme do štyroch tried, z nich dve sa nazývajú „materiály“ a ďalšie dve pôdy v tradičnom zmysle, avšak všetky triedy možno ucelene klasifikovať a mapovať.

Tento progresívny prístup prijalo aj najnovšie vydanie World Reference Base (2006). Uvádza, že má veľa predností, predovšetkým dovoľuje riešiť environmentálne problémy v systematickom i holistickom prístupe a zabráni sterilným diskusiám o univerzálnosti pôdnych definícií. WRB 2006 definuje objekt klasifikácie ako „akýkoľvek materiál do 2 m od zemského povrchu, ktorý je v kontakte s atmosférou s vylúčením vyšších živých organizmov, území so súvislým ľadom a vodných plôch“. Definícia takto zahrňuje súvislé horniny a materiály, dláždené a asfaltové urbánne pôdy, pôdy priemyselných území, jaskynné pôdy a subakválne pôdy do 2 m.

Korelácia antropogénnych pôdnych skupín

Treba poznamenať, že definícia, diagnostika a klasifikácia kultivovaných antropogénnych pôd viacerých medzinárodných klasifikačných systémov je lepšie porovnateľná než skupina pôd antrozemných (technogénnych) (SOBOČKÁ, 2008). V tomto ohľade môžeme nájsť mnoho porovnateľných analógov, napr. kultizeme záhradné v MKSP 2000 sú porovnateľné s arickými antrosolmi vo FAO (1995), s hortisolmi v nemeckej klasifikácii pôd (DBG, 1998), s hortickými transformovanými antroposolmi vo francúzskom systéme pôd (BLAIZE, 1998) alebo s hortickými antrosolmi vo WRB 1998. Súčasné členenie skupiny antropických pôd v MKSP 2000 je podobné ako vo WRB (2006), (Tab. 1).

Tabuľka 1 Porovnanie pôdnych skupín MKSP 2000 a WRB 2006	
Definície: MKSP 2000	Definície: WRB 2006
Skupina pôd antropických: s výrazným antropickým (kultivačným či degradačným) pôdotvorným procesom	Referenčná pôdna skupina: pôdy so silným ľudským ovplyvnením
Kultizeme: pôdy s dominantným kultivačným Ak-horizontom bez ďalších diagnostických horizontov, alebo ich náznakmi	Antrosoly: pôdy s dlhodobým a intenzívnym poľnohospodárskym využívaním
Antrozeme: pôdy s dominantným antrozemným Ad-horizontom bez ďalších diagnostických horizontov, alebo ich náznakmi	Technosoly: pôdy obsahujúce množstvo artefaktov

Korelácia kultizemí a antrosolov

Korelácia oboch systémov (Tab. 2, 3) je trochu komplikovaná v dôsledku rozdielnych úrovní klasifikačných princípov: MKSP má 7-úrovňový kategoriálny systém (pôdna skupina – pôdny typ – pôdny subtyp – varieta – forma – pôdny druh a pôdotvorný substrát), WRB je dvojúrovňový systém referenčná pôdna skupina – pôdny typ (reprezentovaný *qualifiers*).

<i>Tabuľka 2 Korelácia diagnostických horizontov a vlastností MKSP 2000 a WRB 2006</i>	
Diagnostické vlastnosti kultizeme	Podobné vlastnosti antrosolov
Kultizemný melioračný horizont má:	Antrický horizont má:
hrúbku > 35 cm	hrúbku > 20 cm (<i>uplatňuje sa len pre ornícový horizont</i>)
Znaky kultivácie (homogenizácia vrstvy, zreteľný až ostrý prechod, svetlejšia farba horizontu ako podložný horizont, zhutnenie na jeho spodnej hranici)	Ostrá spodná hranica v danej hĺbke pôdy Ornícový pan (stvrdnutá vrstva) Miešanie pôdnych vrstiev kultiváciou
Prímes agrochemikálií, vápenca, maštalného hnoja a iných organo-minerálnych zúrodňovacích komponentov	Fragmenty aplikovaného vápna
Kritérium nie je stanovené	1,5 kg.kg ⁻¹ alebo viac P ₂ O ₅ rozpustného v 1% kyselíne citrónovej
Nie je stanovené kritérium farby (<i>požiadavku spĺňa len molický a umbrický horizont, horizonty ochrický a melanický nie</i>)	Má farby, štruktúru a požiadavky na organickú hmotu molického alebo umbrického horizontu
Kritérium nie je explicitne stanovené	Má menej ako 5 % (obj.) pórov po zvieratách, koprolyty alebo iné stopy po aktivite pôdnej fauny pod hĺbkou vrstvy
Kultizemný melioračný horizont má:	Hortický horizont má:
Hrúbku > 35 cm	hrúbku > 50 cm
Nie je stanovené kritérium farby (<i>požiadavku spĺňa len molický horizont – forma záhradná</i>)	Munsellove farebné value a chroma aspoň 3 a menej
Obsah Cox viac ako 0,3 %	Priemerný vážený obsah Cox 1 % a viac
Kritérium nie je stanovené	0,5M NaHCO ₃ obsahu extrahovaného P ₂ O ₅ v 100mg.kg ⁻¹ jemnozeme a viac vo vrchnej vrstve 25 cm
Kritérium nie je stanovené (<i>len ako varieta nasýtená</i>)	Nasýtenosť bázami (v 1M NH ₄ OA _c) 50 % a viac
Kritérium nie je explicitne stanovené	25 % (obj.) a viac živočíšnych pórov, koprolytov a ostatných stôp aktivity pôdnej fauny
Kultizemný melioračný horizont má:	Terrický horizont má:
Hrúbku > 35 cm	Hrúbku > 50 cm
Kritérium je splnené	Farba je podobná ako pôdotvorný materiál
Kritérium nie je stanovené	Obsahuje menej ako 20 % artefaktov (obj.)
Kritérium nie je stanovené (<i>len ako premiešanie horizontov</i>)	Nemá známky stratifikácie, ale má nepravidelnú textúrnú diferenciaciu
Kritérium nie je stanovené (<i>len ako varieta nasýtená</i>)	Má nasýtenie bázami (v 1M NH ₄ OA _c) 50 % a viac
Kritérium nie je stanovené	Vyskytuje sa lokálne na vyvýšenom povrchu krajiny

Kritérium nie je stanovené	Má litologickú diskontinuitu podložia
Kultizemný melioračný horizont	Plaggický horizont: nevyskytuje sa
Kultizemný melioračný horizont	Irragický horizont: nevyskytuje sa

Tabuľka 3 Korelácia klasifikačných jednotiek podľa MKSP 2000 a WRB

Kultizem v MKSP 2000	Antrosol vo WRB 2006
<i>Pôdny typ:</i> Kultizem (pre zaradenie do antrosolov platí pre všetky subtypy kritérium > 50 cm, inak sú pôdy zaradené do regosolov, resp. iných pôdnych typov)	<i>Referenčná pôdna skupina:</i> Antrosol (s hortickým, plaggickým alebo terrickým horizontom s hrúbkou > 50 cm a viac)
Kultizem modálna (KTm)	Regic Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem černoziemná (KTb)	Hortic Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem čiernicová (KTĎ)	Hortic Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem hnedozemná (KTh)	Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem luvizemná (KTI)	Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem kambizemná (KTK)	Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem pseudoglejová (KTg)	Stagnic Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem glejová (KT _g)	Gleyic Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem slanisková (KTs)	Salic Anthrosol (Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Kultizem slancová (KTc)	Anthrosol (Sodic, Arenic, alebo Siltic alebo Clayic)
Variety: Nasýtená Kyslá Karbonátová Alkalická Kontaminovaná	Prefixy alebo sufixy: Sufix Eutrický Sufix Dystrický Sufix Kalkarický Sufix Alkalický Sufix Toxický
Formy: Záhradná Rigolovaná Terasovaná	Prefixy alebo sufixy: Hortický Terrický (?) Eskalický

Pozn. 1: Prefixy hydragrický, irragrický, plaggický, technický, fluvický, spodický, ferralický ako aj sufixy oxyakvický a novický nie sú uvažované v systéme MKSP 2000

Pozn. 2: Pre zvyšok diagnostického horizontu možno použiť špecifier bathy – horizont alebo materiál vyskytujúci sa medzi 100 a 200 cm od povrchu pôdy

Korelácia oboch systémov MKSP 2000 a WRB 2006 priniesla niekoľko pozoruhodných výsledkov. V MKSP 2000 je objekt klasifikácie chápaný tradične, dokonca nie je uvažovaný antropogénny aspekt pôdotvorby. V tomto ohľade navrhujeme rozšírenie definície o nového činiteľa pôd – človeka (antroposféra, noosféra). Vo WRB 2006 je objekt klasifikácie chápaný oveľa širšie (v zmysle epidermy Zeme), čo však môže v budúcnosti vyvolať určitú dilemu: čo sa má v pôdoznalectve klasifikovať – pôdne teleso alebo epiderma Zeme?

Skupina antropogénnych pôd MKSP 2000 (kultizeme a antrozeme) je v zhode s pôdnou skupinou pôd WRB 2006 „silne ovplyvnených človekom“ (antrosoly a technosoly). Korelácia diagnostických horizontov (uvažovali sme len ich výskyt v miernom klimatickom pásme) bola

pomerne slabá v dôsledku odlišne stanovených kritérií. Zhoda bola pri antrickom horizonte v dvoch diagnostických znakoch (znaky kultivácie a prímies agrochemikálií), v ďalších bolo potrebná detailizácia (určenie farby a hrúbky horizontu). Treba poznamenať, že antrický horizont je určený a porovnateľný s kultizemným ornicoým horizontom, avšak musí spĺňať farebné kritérium molického a umbrického horizontu. Pre naše ornicové horizonty platia aj farby ochrického a melanického horizontu.

Podobne porovnanie kultizemného melioračného horizontu je slabé s hortickým a terrickým horizontom. Pre systém pôd SR vyplýva povinnosť vypracovať podrobnejšiu charakteristiku s dôrazom na antropogénne kritériá. Plaggický a irragrický horizont sa v SR nevyskytujú. Koluviský materiál je vo WRB 2006 chápaný ako antropogénne podmienený materiál, čo v systéme MKSP 2000 absentuje.

Pre klasifikačné zatriedenie je možné kultizem porovnať s antrosolmi jedine v tom prípade, ak spĺňa podmienku hrúbky horizontu 50 cm a viac. Ak táto podmienka nie je splnená, pôdy sa klasifikujú ako regosoly (ochrický horizont), alebo černozeme alebo molické fluvisol (molické horizonty) alebo do iných pôdných typov. Aj je daná podmienka, že antrosoly môžu byť len pôdy s hortickým, plaggickým a terrickým horizontom, klasifikačné zatriedenie je diskutabilné.

Najlepšie sú charakterizované vlastnosti na úrovni tzv. *qualifiers*, t.j. vlastností pôd vo forme prefixov alebo sufixov, ktoré sú pomerne dobre porovnateľné (Tab. 3).

ZÁVER

Hlavným dôvodom korelácie, či porovnania diagnostických horizontov a vlastností pôd kultizemí v MKSP 2000 a antrosolov vo WRB 2006 bolo nájsť spoločné princípy hodnotenia pôd (kritériá), ktoré by napomohli identifikácii pôd SR v medzinárodnej sfére. Veľmi dôležitým momentom pri porovnávaní pôd je aj prehodnotenie chýbajúcich diagnostických kritérií, ktoré je možné aplikovať na pomery Slovenska. Z tohto dôvodu je možná vízia prehodnotiť vlastnosti kultizemného horizontu a detailnejšie ho špecifikovať. Napr. pre záhradné pôdy býva špecifický molický horizont s ďalšími charakteristikami ako je biologické oživenie, prítomnosť rozpustného P_2O_5 . Tieto kritériá v systéme MKSP chýbajú.

Podobne je diskutabilná hĺbka antropogénnej transformácie, ktoré je pomerne odlišná (35 cm a 50 cm). Tento údaj vytvára komplikácie pri automatizovanom klasifikačnom zatriedovaní a preto uvedená korelácia nie je platná všeobecne. Možno ju uplatniť len pri individuálnom posudzovaní jednotlivých pôdných profilov, kedy hĺbka agrogénnej transformácie by sa mala medzinárodne zjednotená. Z tohto hľadiska treba prehodnotiť princípy agrogénnej transformácie – to nie je len hĺbka orby, ale aj proces dodávania organo-minerálnych hnojív a kompostu do pôdy, výskyt artefaktov a podobne.

Na záver by sme chceli zdôrazniť, že všetky poznatky a zistenia budú východiskom pre prehodnotenie skupiny antropogénnych pôd v inovovanej verzii MKSP 2000.

LITERATÚRA

- AHRENS, R.J., ENGEL, R.J. 1999. *Soil Taxonomy and Anthropogenic Soils*, In Kimble, J.M. – Ahrens, R.J.- Bryant, R.B. Classification, Correlation and Management of Anthropogenic Soils. Proceedings-Nevada and California, Sept. 21-Oct. 2, 1998. Lincoln: USA-NRCS, NSSS, 1999, 227 p.
- BLAIZE, D. 1998. *A Sound reference Base for Soil, the "referential pédologique"* Paris: INRA, (English version), 1998, 322p.
- BURGHARDT, W. 1994. *Soil in urban and industrial environments*. Zeitschrift Pflanzenernähr. Bodenkunde, No.157, 1994, p. 205-214.
- BURGHARDT, W. 2002. *Manusript*.
- DBG, 1998. *Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands*. Band 86, 1998 180 s.
- FAO, 1994. *Soil Map of the World*. Revised legend with corrections. Wageningen: ISRIC, 1994, 140 p.
- SOBOCKÁ, J. 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava: VÚPOP, 2000, 76 s.
- ISSS-ISRIC-FAO, 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. World resources reports Vol. 84, 1998, 88 p.
- IUSS WORKING GROUP WRB, 2006. *World reference base for soil resources 2006*. Word Soil Resources Reports No. 03. Rome: FAO, 2006.
- NACHTERGAELE, F. 2005. *The soils to be classified in the World reference Base for Soil Resources*. Eurasian Soil Sci., Vol. 38 (Suppl. 1), 2005, p. 13-19.
- ROSSITER, D.G. 2007. *Classification of Urban and Industrial Soils in the World reference Base for Soil resources*. J. Soils and Sediments, Vol. 7, 2007, No. 2, p. 96-100.
- SOBOCKÁ, J. - BEDRNA, Z. - JURÁNI, B. - RAČKO, J. 2000. *Anthropogenic soils in the Morphogenetic Soil Classification System of Slovakia*. In Burghardt, W. – Dornauf, Ch. (eds): Proceedings 1st International Conference. SUITMA, July 12-18 2000, Vol. I, Essen: University of Essen, p.277-281.
- SOBOCKÁ, J. 2003. *Urban soils vs. anthropogenic soils, their characteristics and functions*. Bratislava: Phytopedon, Vol. 2., 2003, No. 2, p. 76 – 80.
- SOBOCKÁ, J. 2008. *Anthrozems in Slovakia and its correlation with Technosols (WRB, 2006)*. In Antropizácia pôd IX. Zborník príspevkov z vedeckého seminára, 27.-28.5.2008. Bratislava, 2008, p. 46-54, 978-80-89128-48-8.
- STROGANOVA, M. - MYAGKOVA, A. - PROKOFIEVA, T. - SKVORTSOVA, I. 1998. *Soils of Moscow and urban environment*. Moscow, 1998, 178 p.
- ŠÍŠOV, L.L. - TONKONOGOV, V.D. - GERASIMOVA, M.I. 2001. *Russian soil classification system*. Moscow: V.V. Dokučajev Soil Science Institute, 2001, 221p.
- TONKONOGOV, V.D. - LEBEDEV, I.I. 1999. *A System for Categorizing Technogenic Surface Formations (Humanly Modified Soils)*. In Kimble, J.M. – Ahrens, R.J.- Bryant, R.B. Classification, Correlation and Management of Anthropogenic Soils. Proceedings-Nevada and California, Sept. 21-Oct. 2, 1998. Lincoln: USA-NRCS, NSSS, 1999, p. 186-189.

VÝSKYT DUSIČNANOV V DRENÁŽNYCH VODÁCH POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD SR

NITRATE PRESENCE IN DRAINAGE WATER SYSTEMS OF AGRICULTURAL SOILS IN SLOVAK REPUBLIC

Igor SOBOCKÝ, Vladimír PIŠ, Katarína NOVÁKOVÁ

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôd Bratislava, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava
e-mail: i.sobocky@vupop.sk*

Abstrakt

V príspevku sa zhodnotil výskyt dusičnanov v odvodňovacích systémoch poľnohospodárskych pôd nížinných oblastí Slovenska v rokoch 2005-2007. Na 50 odberných miestach sa sledovala existencia biologických nitrifikačných procesov uvoľňujúcich rozpustné a spolu s pôdnou vodou mobilné formy dusičnanov. Celkovo monitoring drenážnych vôd sleduje územie, ktoré odvádza povrchové vody z rozlohy 4 600 km². Pozornosť sa sústreďuje predovšetkým na odvodňovacie kanály a miestnu úpravu tzv. „poľnohospodárskych tokov“, ktoré slúžia ako hlavný recipient odvedenia drenážnych vôd. Monitoring sa realizuje na základe tzv. „Vodného zákona 364/2004“, ktorý v §34 definuje zraniteľné oblasti - poľnohospodársky využívané územia a smernice 91/676/EHS, ktorá určuje požiadavky na zníženie znečistenia vôd spôsobené dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov.

Kľúčové slová: dusičnany, odvodňovacie kanály, drenážne vody, monitoring

Abstract

Presence of nitrates in drainage systems in lowlands agricultural soils of Slovakia during the period 2005-2007 was evaluated. On 50 sampling sites the presence of biological nitrification processes releasing soluble and with soil water mobile forms of nitrates was observed. Generally monitoring of drainage water investigates the areas catching surface water extended on 4 600 km². The observation was focussed first of all on draining canals and local adjustment so-called "agricultural watercourses" which can serve as main recipient of water draining. The monitoring is realized on the base of so-called "Water law" No. 364/2004" which in §34 defines vulnerable regions of agriculturally used areas and the direction 91/676/EHS which determines conditions on decrease of water contamination involved by nitrates from agricultural land resources.

Key words: nitrates, drainage canals, drainage water system, monitoring

ÚVOD

Drenážne vody významnou mierou odvádzajú živiny z poľnohospodárskej krajiny a preto môžu znamenať trvalý alebo potenciálny zdroj znečistenia, ktorým sú ohrozené najmä povrchové toky, ktoré sú ich recipientmi. Kvalita drenážnych vôd je závislá najmä od kvality a vlastností pôdneho profilu, z ktorého je prebytočná pôdna voda odvádzaná. Ide najmä o poľnohospodárske pôdy, ktoré sú potenciálnym zdrojom znečisťujúcich látok, či už prirodzeného alebo antropogénneho pôvodu. Problémy môžu nastať najmä v oblastiach, kde sa v poľnohospodárskej výrobe dôsledne nedbá na dodržiavanie zásad správnej poľnohospodárskej praxe (BIELEK, 1996).

Možnosti vertikálneho posunu a vyplavovania dusíkatých zlúčenín z pôdneho prostredia ovplyvňuje v prvom rade prirodzená existencia biologických nitrifikačných procesov uvoľňujúcich rozpustné a spolu s pôdnou vodou mobilné dusičnany. Dusičnanový ión, vzhľadom na svoje fyzikálno-chemické vlastnosti nie je schopný sa v pôde špecificky sorbovať, a tak často dochádza k jeho možnému vyplavovaniu predovšetkým v podmienkach vysokej koncentrácie dusíkatých zlúčenín v pôdnom prostredí.

Vodný zákon č. 364/2004 v §34 definuje zraniteľné oblasti ako poľnohospodársky využívané územia, z ktorých odtekajú vody zo zrážok do povrchových vôd, alebo vsakujú do podzemných vôd a v ktorých koncentrácia dusičnanov je vyššia ako 50 mg.l^{-1} , alebo sa môže v blízkej budúcnosti prekročiť. Nakoľko v oblastiach s vybudovanými odvodňovacími stavbami (otvorené kanále, drenážne systémy) môže k týmto problémom dochádzať výraznejšie, pristúpilo sa k sledovaniu kvality vôd v odvodňovacích stavbách na základe legislatívneho rozhodnutia.

Cieľom smernice 91/676/EHS tzv. „Nitrátovej direktívy“ je súbor opatrení smerujúcich k zníženiu možností znečistenia vodných zdrojov (povrchových aj podzemných) dusičnanmi, ktoré môžu pochádzať z minerálnych a hospodárskych hnojív a to vtedy, keď sú aplikované v nadmerných dávkach a v nesprávnom čase, alebo keď sú zle uskladňované. Od členských štátov EÚ sa vyžaduje, aby identifikovali vody, ktoré sú ovplyvnené, alebo môžu byť ovplyvnené dusičnanovým znečistením v súlade s kritériami na identifikáciu vôd v zraniteľných oblastiach, ktoré sú uvedené v prílohe č. 4 vodného zákona.

MATERIÁL A METÓDY

V rámci realizácie melioračného programu sa v predchádzajúcich rokoch sústredila pozornosť predovšetkým na výstavbu odvodnenia drenážou, odvodňovacích kanálov a miestnu úpravu tzv. „poľnohospodárskych tokov“, ktoré slúžili ako hlavný recipient odvedenia drenážnych vôd. V súčasnej dobe je vybudovaných asi 80 % (cca 460 tis. ha) drenážnych systémov z celkovej plánovanej potreby odvodnenia v SR (cca 560 tis. ha). Uvedené systémy sú vo vlastníctve štátu a zväčša v správe š.p. Hydromeliorácie Bratislava.

Odvodnenie poľnohospodárskych pozemkov v nížinných oblastiach nadväzuje na hlavné systémy odvedenia vnútorných vôd, ktoré zabezpečujú odvedenie povrchových vôd z územia

veľkého 4 600 km² za účelom zlepšenia vodného a vzdušného režimu poľnohospodárskych pôd.

Charakteristika odvodňovacích stavieb (zariadení) sa rozdeľuje na:

1. Hlavné odvodňovacie zariadenia – systém kanálovej siete vyústený do recipienta gravitačne, alebo pomocou prečerpávajúcej OČS
2. Podrobné odvodňovacie zariadenia – príkopové (povrchové) a drenážne (podpovrchové).

Kvalita drenážnych vôd sa monitoruje už od roku 2005 na 50 odberných miestach Slovenska, ktoré sa vyberajú tak, aby pokrývali oblasti s intenzívnou poľnohospodárskou výrobou na území SR, kde sú vybudovaná odvodňovacie stavby. Na vybraných lokalitách sa vykonáva sledovanie kvality 5x ročne s cieľom skúmať časovú a priestorovú závislosť sledovaných prvkov. Pri výbere odberných miest, postupujeme tak, že odberné miesta s minimálnym výskytom dusičnanov v drenážnych vodách nahrádzame novými v iných regiónoch, či oblastiach, kde boli v minulosti vybudované odvodňovacie systémy. Obsah dusičnanov stanovujeme spektrofotometrickou metódou na prístroji Skalar v akreditovaných laboratóriách VÚPOP.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

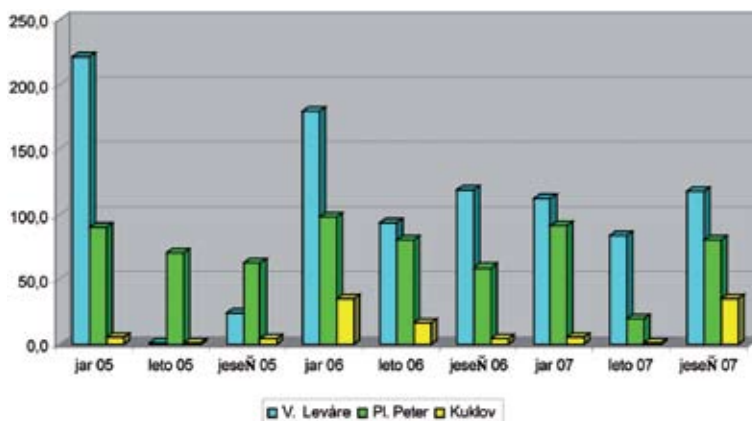
Najvyšší výskyt dusičnanov bol v rokoch 2005–2007 pozorovaný v drenážnych vodách **Záhorskej nížiny** na lokalite Veľké Leváre, na pôdach s pestovaním špargle, kde jeho koncentrácie v drenážnej šachte dosahovali hodnotu až 221 mg/l (jar 2005). Tieto vysoké koncentrácie sú spôsobené pravdepodobne aplikáciou priemyselných hnojív a ich vyplavením počas dažďov, príp. doplnkových závlah cez vysoko priepustný piesočnatý pôdny profil do drenážneho systému, ktorý je na pozemkoch vybudovaný.

Vysoký obsah dusičnanov bol pozorovaný aj na lokalite Plavecký Peter v Podkarpatskej depresii na stredne ťažkých hlinitých pôdach s pestovaním typických kultúrnych plodín (kukurica, repka, obilie). Na lokalite Kuklov v povodí Myjavy boli pozorované len sezónne zvýšené hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách a to hlavne na jar 2006 a jeseň 2007.

Tabuľka 1 Hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Záhorskej nížiny (mg.l⁻¹)

Lokalita	jar 05	leto 05	jeseň 05	jar 06	leto 06	jeseň 06	jar 07	leto 07	jeseň 07
V. Leváre – dr. šachta	221,0	1,0	24,8	179,0	93,5	119,0	112,4	83,6	118,0
Pl. Peter – odv. kanál	90,5	70,9	62,5	98,4	80,1	59,0	91,1	20,3	80,4
Kuklov – odv. kanál	5,62	1,0	4,12	34,9	17,1	4,21	5,56	1,0	35,7

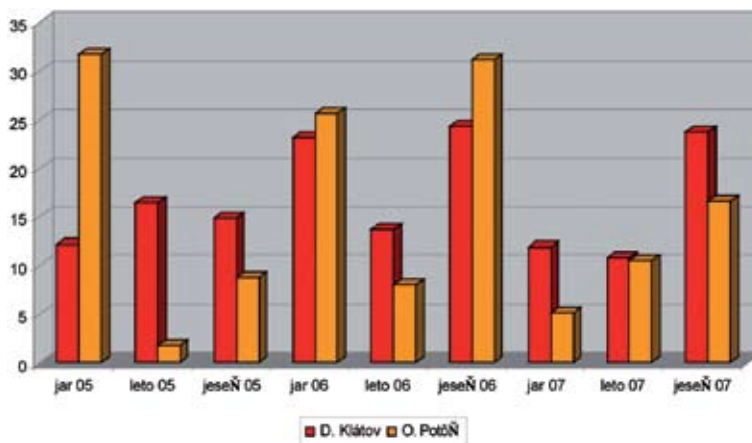
Obrázok 1 Priebek koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Záhorskej nížiny (mg/l)



Na území **Žitného Ostrova** bol pozorovaný pomerne nízky výskyt dusičnanov v povrchových kanáloch, ktoré slúžia na odvádzanie vnútorných vôd z poľnohospodárky využívaných pozemkov. Je to spôsobené tým, že územie ŽO slúži ako zdroj kvalitnej podzemnej vody pre zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou a celé územie bolo vyhlásené za chránenú vodohospodársku oblasť, na ktorej v zmysle zákona 364/2004 o vodách je aplikácia dusíkatých hnojív značne obmedzená.

Tabuľka 2 Hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Žitného Ostrova (mg/l)

Lokalita	jar 05	leto 05	jeseň 05	jar 06	leto 06	jeseň 06	jar 07	leto 07	jeseň 07
D. Klátov – kanál	12,2	16,5	14,9	23,2	13,7	24,3	11,9	10,8	23,7
O. Potôň – kanál	31,7	1,8	8,79	25,6	8,1	31,2	5,16	10,5	16,6

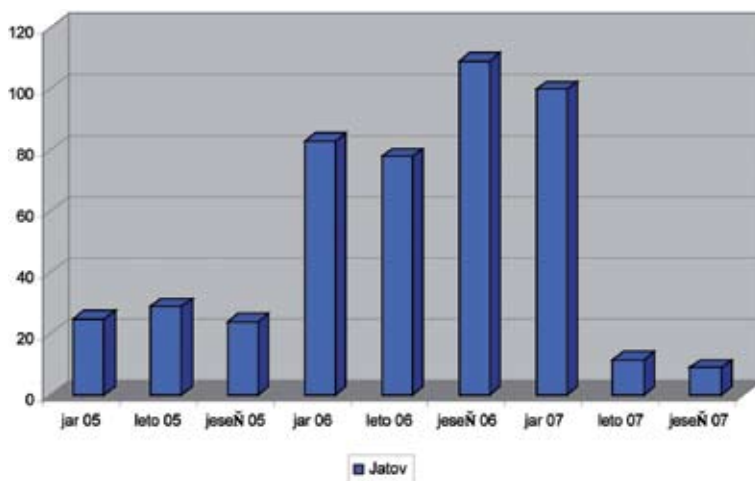
Obrázok 2 Priebek koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Žitného ostrova (mg.l⁻¹)

Pomerne vysoký obsah dusičnanov v drenážnych vodách hlavne v roku 2006 bol pozorovaný v oblasti dolného Váhu (Horný Jatov), spôsobený pravdepodobne intenzívnejšou aplikáciou hnojív na okolité poľnohospodárske pôdy. V tejto oblasti navrhujeme rozšíriť monitorovanie drenážnych vôd v odvodňovacích kanáloch Huňadovský a Hornokráľovský.

Tabuľka 3 Hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Horný Jatov (mg.l⁻¹)

Lokalita	jar 05	leto 05	jeseň 05	jar 06	leto 06	jeseň 06	jar 07	leto 07	jeseň 07
Jatov – odv. kanál	24,9	28,8	23,9	82,9	77,8	109,0	99,7	11,5	8,91

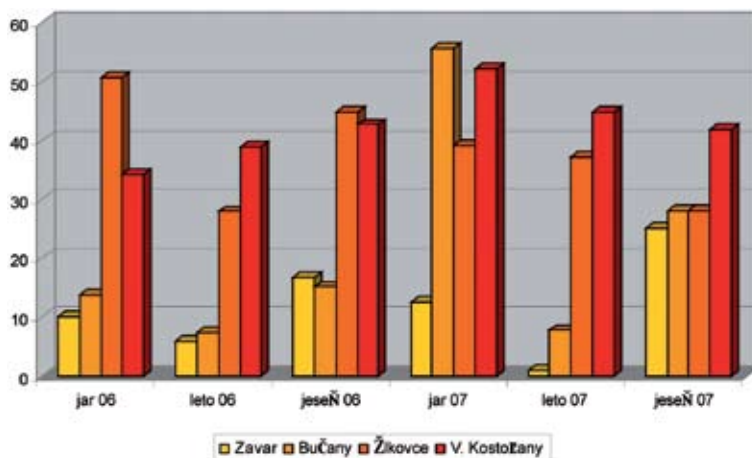
Obrázok 3 Priebeh koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Horný Jatov (mg.l⁻¹)



V oblasti **stredného Váhu** (Trnavsko) sú odvodnené rozsiahle územia poľnohospodárskej pôdy odvodňovacími kanálmi hlavne na pravej strane rieky Váh. Obsahy dusičnanov v drenážnych vodách sú zvýšené až vysoké v Pečeňadskom (Žlkovce), Borovskom (V. Kostoľany), ojedinele aj v Červenickom (Bučany) kanále, spôsobené pravdepodobne intenzívnejšou aplikáciou hnojív na okolité poľnohospodárske pôdy.

Tabuľka 4 Hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách stredného Váhu (mg.l⁻¹)

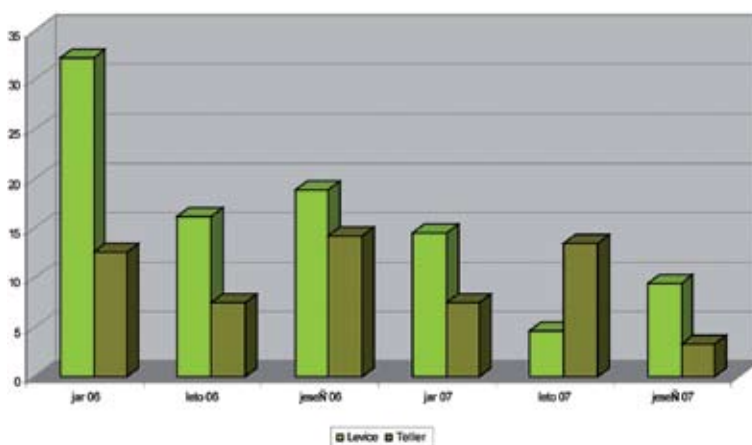
Lokalita	jar 06	leto 06	jeseň 06	jar 07	leto 07	jeseň 07
Zavar	9,98	5,93	16,7	12,6	1,0	25,0
Bučany	13,7	7,33	15,1	55,7	7,7	28,1
Žlkovce	50,7	27,9	44,7	39,2	37,2	28,0
V. Kostoľany	34,2	38,8	42,7	52,2	44,8	41,9

Obrázok 4 Priebeh koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách stredného Váhu (mg.l⁻¹)

V oblasti **dolného Hrona** sú odvodnené územia poľnohospodárskych pôd hlavne v oblasti Levíc. Obsahy dusičnanov vo vodách odvodňovacích kanálov sú prevažne nízke, ojedinele zvýšené (jar 2006).

Tabuľka 5 Hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách dolného Hrona

Lokalita	jar 06	leto 06	jeseň 06	jar 07	leto 07	jeseň 07
Levice	32,2	16,2	18,8	14,5	4,6	9,4
Teller	12,6	7,39	14,2	7,5	13,4	3,2

Obrázok 5 Priebeh koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách dolného Hrona (mg.l⁻¹)

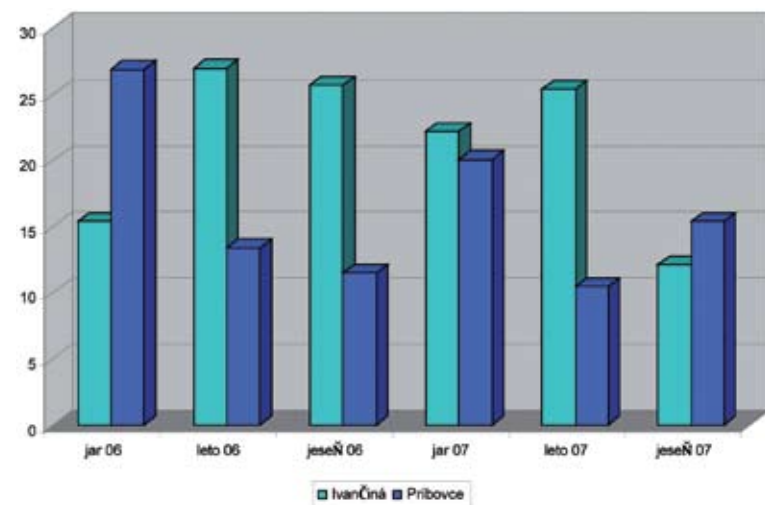
V oblasti **Turčianskej kotliny** sú odvodnené územia poľnohospodárskych pôd prevažne pomocou upravených vodných tokov. Zvýšené obsahy dusičnanov v týchto tokoch boli pozor-

rovaná v Karlovskom aj Ivančinskom potoku. V budúcnosti plánujeme rozšírenie monitoringu aj na ďalšie stredoslovenské kotliny (Spišská, Zvolenská, Žiarska...), kde sú vybudované prevažne odvodňovacie kanále, prípadne upravené miestne vodné toky.

Tabuľka 6 Hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Turčianskej kotliny

Lokalita	jar 06	leto 06	jeseň 06	jar 07	leto 07	jeseň 07
Ivančiná	15,4	27,0	25,7	22,2	25,4	12,1
Príbovce	26,9	13,4	11,5	20,1	10,5	15,4

Obrázok 6 Priebeh koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách Turčianskej kotliny (mg.l⁻¹)

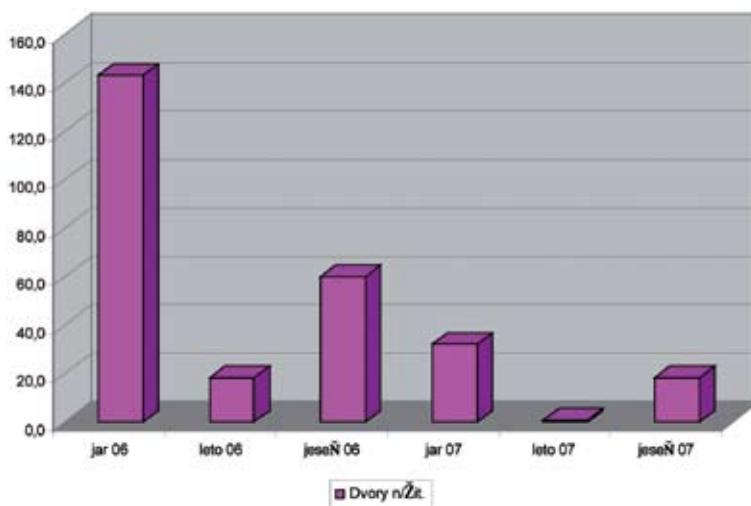


Pomerne vysoký obsah dusičnanov bol zaznamenaný v drenážnych vodách regiónu **dolnej Nitry** odvodňovaných poľnohospodárskych pôd západne od obce Dvory nad Žitavou v miestnom odvodňovacom kanáli, vyústeného do toku St. Žitavy kde hodnoty dosiahli až 143 mg/l (jar 2006). Aj tu plánujeme rozšírenie monitoringu o ďalšie stanovišťa.

Tabuľka 7 Hodnoty koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách dol. Nitry

Lokalita	jar 06	leto 06	jeseň 06	jar 07	leto 07	jeseň 07
Dvory n/Žit.	143,0	18,2	59,9	32,2	0,9	18,3

Obrázok 7 Priebeh koncentrácie dusičnanov v drenážnych vodách dol. Nitry (mg.l⁻¹)



ZÁVER

Poľnohospodárska činnosť (hlavne aplikácia hnojív) je významným plošným zdrojom znečistenia povrchových aj podzemných vôd. S cieľom zabrániť znečisteniu, prípadne znížiť riziko znečistenia vôd (najmä zlúčeninami dusíka) z poľnohospodárskych zdrojov je potrebné do poľnohospodárskej praxe zavádzať špeciálne opatrenia a poľnohospodárske postupy šetrné k životnému prostrediu a vodným zdrojom. Tieto aktivity upravuje Kódex správnej poľnohospodárskej praxe (BIELEK, 1996) a Vyhláška MP SR, ktorou sa ustanovuje Program poľnohospodárskych činností vo vyhlásených zraniteľných oblastiach (2004).

Výsledky poukazujú na pomerne vysokú dynamiku výskytu dusičnanov v drenážnych vodách. Zvýšený obsah dusičnanov nastáva hlavne v jarnom období (topenie snehu, jarné zrážky, chýbajúci rastlinný kryt...) ako aj v jesennom období (zrážky, hnojenie). V letných mesiacoch je naopak obsah dusičnanov znížený v dôsledku spotreby dusíka rastlinami ako aj intenzívnej evapotranspirácie, kedy len malá časť zrážok sa dostane do pôdy. Doplnková závlaha neprevláha celý pôdny profil a prienik dusičnanov do hlbších častí pôdneho profilu je obmedzený (s výnimkou prívalových dažďov).

Aby bolo možné objektívnejšie posúdiť a zhodnotiť zmeny v kvalite drenážnych vôd v dlhších časových intervaloch bolo by vhodné v programe monitorovania v budúcnosti pokračovať, rozšíriť na ďalšie lokality, prípadne do monitorovania zahrnúť aj zimné obdobie, kedy vzniká riziko prieniku látok pôdnym profilom hlavne v čase intenzívneho topenia snehu.

LITERATÚRA

- BIELEK, P. 1996. *Ochrana pôdy: Kódex správnej poľnohospodárskej praxe v SR*. Bratislava: MP SR, VÚPOP, 1996, 54 s.
- SMERNICA 91/676/EHS. *Ochrana vôd pred znečistením spôsobeným dusičnanmi z poľnohospodárskych zdrojov*.
- SOBOCKÝ, I., A. I. 2005. *Monitoring kvality drenážnych vôd odvádzaných z poľnohospodársky využívaných pôd*. Záverečná správa zo odbornú úlohu v roku 2005.
- SOBOCKÝ, I., A. I. 2006. *Monitoring kvality drenážnych vôd odvádzaných z poľnohospodársky využívaných pôd*. Záverečná správa zo odbornú úlohu v roku 2006.
- SOBOCKÝ, I., A. I. 2007. *Monitoring kvality drenážnych vôd odvádzaných z poľnohospodársky využívaných pôd*. Záverečná správa zo odbornú úlohu v roku 2007.
- VYHLÁŠKA 221/2005. *Podrobnosti o zisťovaní výskytu a hodnotení stavu povrchových a podzemných vôd, o ich monitorovaní, vedení evidencie o vodách a o vodnej bilancii*.
- ZÁKON 364/2004. *O vodách a o zmene zákona SNR č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon)*.
- VYHLÁŠKA 93/2004. *Program poľnohospodárskych činností vo vyhlásených zraniteľných oblastiach*.
-

ZÁSoby VODY V ZÓNE AERÁCIE POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD BORSKEJ NÍŽINY

WATER RESERVES IN AERATION ZONE IN AGRICULTURAL SOILS OF BORSKA LOWLAND

Igor SOBOCKÝ, Katarína NOVÁKOVÁ

*Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôd Bratislava, Gagarinova 10m, 827 13 Bratislava
e-mail: i.sobocky@vupop.sk*

Abstract

We have processed the basic hydrophysical properties for an assessment of water reserve in aeration zone of agricultural soils of Borska lowland. The background was sampling of 4 soil profiles representing particle grain size distribution (soil texture) of Borska lowland area. The calculation of water reserves was realized by indirect procedure which consists of moisture retention curve (pF) determination for individual soil texture categories and following specifying of thickness of aeration zones for what is water reserves determined. It is a profile layer with defined water capacity from what the plant is able to water uptake by its rooting system. By use of soil texture map of Borska lowland in the scale 1:50 000 we have assess total water reserves in m³.

Keywords: hydrophysical characteristics, water regime, Borska lowland

Abstrakt

Pre stanovenie zásob vody v zóne aerácie poľnohospodárskych pôd Borskej nížiny sa spracovali základné hydrofyzikálne charakteristiky. Podkladom pre stanovenie bol odber 4 pôdnych profilov reprezentujúcich jednotlivé zrnitostné zloženie (pôdna textúra) územia Borskej nížiny. Výpočet zásob vody v zóne aerácie sme realizovali nepriamym postupom, ktorý spočíva stanovení vlhkostnej retenčnej čiary (pF) pre jednotlivé pôdne druhy a v stanovení mocnosti zóny aerácie. Je to profilová vrstva, pre ktorú sa určí objem vody, resp. z ktorej je rastlinný kryt schopný odoberať vodu svojím koreňovým systémom. Využitím mapy pôdnych druhov Borskej nížiny v mierke 1:50 000 sme stanovili celkovú zásobu vody v m³.

Kľúčové slová: hydrofyzikálne charakteristiky, vodný režim, Borská nížina

ÚVOD

V súčasnosti pri využívaní rôznych metód matematického modelovania je možné určiť hydrofyzikálne charakteristiky pôd a spracovať ich vo forme využiteľných vstupov do matematických modelov vodného režimu vôd. Hydrofyzikálne charakteristiky pôd na území Borskej

nížiny boli spracované na základe využitia množstva meraní realizovaných v projekte „Optimalizácia vodného režimu agroekosystému v regióne Záhorskej nížiny“ (ŠANTA A. I., 1998).

O kvalite a kvantite retencii vody v zóne aerácie nie sú dostatočné informácie ani na území SR ani na regionálnej úrovni. Pre tento vodný zdroj nie je zavedený monitoring tak, ako je to pre povrchové a podzemné vody, preto sa preň zaviedol termín „III. vodný zdroj prírodného prostredia“. Domnievame sa, že s týmto vodným zdrojom sa treba zaoberať detailnejšie tak po stránke kvalitatívnej ako aj kvantitatívnej.

Objem vody vyskytujúci sa v zóne aerácie pôdy zodpovedá akumulácii vody v rámci mikroštruktúry jednotlivých zložiek hydrologického cyklu. Tento cyklus predstavuje základný vodný zdroj pre biosféru pevniny, resp. územia. Zdroj pôdnej vody pre biosféru možno teda definovať ako objem vody v zóne aerácie pôdy, ktorá zodpovedá intervalu energetických väzieb vody s pevnou fázou pôdy medzi poľnou vodnou kapacitou (PVK) a bodom vädnutia (BV), (ŠÚTOR, 1986).

MATERIÁL A METÓDY

Metodický postup pre stanovenie zásob vody v zóne aerácie je založený na organizovanom monitoringu v navrhnujej sieti pozorovaných pôdnych profilov (stanovišť) s určitou časovou frekvenciou sledovania vlhkosti pôdy v jednotlivých pôdnych horizontoch. Na území Borskej nížiny však nie je vytvorená takáto sieť pôdnych profilov a to vzhľadom na pomerne veľkú ekonomickú aj časovú náročnosť týchto meraní. Na základe tejto skutočnosti sme stanovenie zásob vody v zóne aerácie realizovali nepriamym postupom (ŠÚTOR, 1991; ŠÚTOR, IVANČO, 1994; ŠÚTOR, MATI, 1993), ktorý spočíva na vypočítaní vzťahu medzi objemovou vlhkosťou pôdy a jej energetickým stavom vyjadrenom vlhkosťou retenčnou krivkou. Nepriama metóda stanovenia zásob vody v zóne aerácie sa teda zakladá na stanovení vlhkosťnej retenčnej čiary (jej charakteristických bodov, vyjadrujúcich vzťah k porastu) pre jednotlivé pôdne druhy Borskej nížiny a v stanovení mocnosti zóny aerácie, pre ktorú sa zásoba vody určí, resp. z ktorej je rastlinný kryt schopný odoberať vodu svojím koreňovým systémom.

Pre územie Borskej nížiny boli vybrané 4 reprezentatívne pôdne sondy, pre ktoré charakterizovali nasledovné pôdne druhy:

1. ľahké pôdy - lokalita Kostolište
2. stredne ťažké pôdy ľahšie - lokalita Stupava
3. stredne ťažké pôdy – lokalita Záhorská Ves
4. ťažké pôdy – lokalita Moravský Ján.

Pre dané pôdne profily boli zisťované základné hydrofyzikálne vlastnosti. Odobraté boli neporušené pôdne vzorky kopaných sond pomocou valčekov a analyzované podľa Nováka. kategorizácie (% ílovitých častíc):

- Ľahké pôdy – sondy L-1, L-2, L-3, L-4 (0 – 20 %)
- Stredne ťažké pôdy, ľahšie – sondy SL-1, SL-2 (20 – 30 %)
- Stredne ťažké pôdy – sondy S-1, S-2, S-3 (30 – 45 %)
- Ťažké pôdy – sondy T-2, T-3 (45 – 60 %).

Ako základné hydrofyzikálne charakteristiky sa merali: objemová hmotnosť redukovaná (OH v g.cm^{-3}), kapilárna nasiakavosť (KN v %), maximálna kapilárna kapacita (MKK %), retenčná vodná kapacita (RVK v %), celková pórovitosť (P_o %), nekapilárna pórovitosť (P_n %) a bod vädnutia (BV %).

Pre uvedenú databázu charakteristík boli vypracované vlhkosťné retenčné čiary $h_w = f(\theta)$, hydrolimity, súčiniteľ filtrácie K, súčiniteľ nenasýtenej hydraulikkej vodivosti $k = f(\theta)$, súčiniteľ difuzivity pôdnej vody $D = f(\theta)$, súčiniteľ drenážnej pórovitosti P_d a súčiniteľ nedostatku nasýtenia P_u . Pre charakterizovanie vzťahu rastlina – vlhkosťný potenciál boli na základe konvencie vybrané body vlhkosťnej retenčnej čiary. Pre výpočet celkových zásob vody v zóne aerácie sme využili mapy pôdnych druhov v mierke 1:50 000 (VÚPOP, Bratislava).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hydrofyzikálne vlastnosti pôd

Výsledky merania hydrofyzikálnych vlastností horizontov reprezentatívnych pôdnych druhov sú uvedené v tabuľke 1.

Pôdny druh	Horizont	OH	KN	MKK	RVK	Po	Pn	BV
Ľahké pôdy (0-20%)	0 - 30	1,61 - 1,88	26 - 31	19 - 26	16 - 25	29 - 39	3 - 14	5 - 12
	30 - 60	1,64 - 1,66	29 - 33	19 - 21	9 - 17	37 - 38	9 - 15	3 - 5
	60 - 100	1,64 - 1,82	28 - 29	19 - 26	17 - 25	34 - 39	6 - 14	5 - 10
Stredne ťažké pôdy ľahšie (20-30%)	0 - 30	1,70 - 1,78	32 - 33	25 - 32	22 - 32	33 - 36	8 - 14	8 - 17
	30 - 60	1,60 - 1,68	29 - 38	25 - 35	22 - 34	37 - 42	6 - 10	8 - 20
	60 - 100	1,50 - 1,75	29 - 35	25 - 26	13 - 23	34 - 44	7 - 16	6 - 8
Stredne ťažké pôdy (30-45%)	0 - 30	1,61 - 1,64	37 - 41	36 - 39	34 - 38	38 - 40	0 - 4	21 - 24
	30 - 60	1,49 - 1,60	38 - 45	37 - 44	35 - 44	41 - 45	1 - 3	20 - 28
	60 - 100	1,48 - 1,63	34 - 46	31 - 45	30 - 43	41 - 47	1 - 8	20 - 29
Ťažké pôdy (45-60%)	0 - 30	0,92 - 1,24	37 - 51	35 - 50	33 - 50	37 - 54	0 - 3	25 - 26
	30 - 60	1,42 - 1,61	43 - 50	41 - 47	39 - 46	44 - 47	0 - 2	26 - 31
	60 - 100	1,47 - 1,58	41 - 44	38 - 43	34 - 43	43 - 46	2 - 4	12 - 23

Vysvetlivky: OH – objemová hmotnosť redukovaná (g.cm^{-3}), KN – kapilárna nasiakavosť (obj.%), MKK – maximálna kapilárna kapacita (obj.%), RVK – retenčná vodná kapacita (obj.%), Po – celková pórovitosť (%), Pn – nekapilárna pórovitosť (%), BV – bod vädnutia (obj.%)

Retenčné vlastnosti pôd

Pre uvedenú databázu charakteristík boli vypracované vlhkosťné retenčné čiary $h_w = f(\theta)$, hydrolimity, súčiniteľ filtrácie K, súčiniteľ nenasýtenej hydraulikkej vodivosti $k = f(\theta)$, súčiniteľ difuzivity pôdnej vody $D = f(\theta)$, súčiniteľ drenážnej pórovitosti P_d a súčiniteľ nedostatku nasýtenia P_u . Retenčné vlastnosti pôd sú reprezentované vlhkosťnou retenčnou čiarou, t.j. závislosťou vlhkosťného potenciálu $h_w = f(\theta)$ od vlhkosti. Uvedeným postupom boli pre jednotlivé pôdne druhy a pôdne horizonty stanovené vybrané body vlhkosťnej retenčnej čiary.

V tabuľke 2 sa uvádzajú body retenčných čiar na vybraných reprezentatívnych pôdnych profiloch.

Tabuľka 2 Hodnoty vybraných bodov vlhkostrých retenčných čiar pôd Borskej nížiny

Pôdny druh	horizont cm	θ_s	θ_{pVK} pF=2,5	θ_{BZD} pF=3,3	θ_{BV} pF=4,2
Ľahká pôda	0 - 30	31,96	16,37	11,50	10,47
	31 - 80	35,17	19,10	14,21	10,62
	81 - 110	29,09	15,38	12,04	8,88
Stredne ťažká pôda ľahšia	0 - 30	33,48	13,83	11,96	9,17
	31 - 80	32,24	23,32	19,57	16,37
	81 - 110	29,32	21,58	16,97	13,48
Stredne ťažká pôda	0 - 30	36,53	34,05	30,56	27,11
	31 - 80	38,57	35,09	31,58	26,85
	81 - 110	44,39	40,91	38,30	32,34
Ťažká pôda	0 - 30	51,02	47,22	43,54	38,53
	31 - 80	56,13	53,07	49,44	41,00
	81 - 110	42,40	38,91	35,05	32,50

Vysvetlivky: θ_s - vlhkosť zodpovedá plnej vodnej kapacite, θ_{pVK} - vlhkosť polnej vodnej kapacity, θ_{BZD} - bod zníženej dostupnosti, θ_{BV} - vlhkosť trvalého vädnutia

Pre sledované reprezentatívne charakteristiky sa spracovali vstupné parametre a charakteristiky, ktoré možno použiť ako vstupné údaje do analytických vzťahov (Tab. 3).

Tabuľka 3 Vstupné parametre a charakteristiky do analytických vzťahov

Pôdny druh	Horizont cm	SÚČINITELE PRE VÝPOČET $k = f(\theta)$				Obj. hm. g.cm ⁻³	K m.deň ⁻¹
		a	n	θ_r	θ_s		
Ľahká pôda	0 - 30	0,0263	1,5639	0,0917	0,3188	1,690	6,854
	31 - 80	0,0490	1,2977	0,0651	0,3528	1,640	1,361
	81 - 110	0,0767	1,2607	0,0513	0,2929	1,820	
Stredne ťažká pôda ľahšia	0 - 30	0,0491	1,6115	0,0967	0,3348	1,700	3,599
	31 - 80	0,0507	1,3521	0,0712	0,3204	1,680	0,952
	81 - 110	0,0316	1,4980	0,0779	0,2976	1,750	
Stredne ťažká pôda	0 - 30	0,0074	1,2182	0,1999	0,3653	1,610	0,637
	31 - 80	0,0060	1,1379	0,1346	0,3857	1,600	0,986
	81 - 110	0,0095	1,0883	0,1389	0,4439	1,540	
Ťažká pôda	0 - 30	0,0074	1,0722	0,0888	0,5102	1,770	0,290
	31 - 80	0,0048	1,1269	0,2523	0,5613	1,560	0,042
	81 - 110	0,0070	1,3288	0,2988	0,4240	1,580	

Stanovenie zásob vody v zóne aerácie

Vlhkostné retenčné čiary boli spracované reprezentatívne pre jednotlivé pôdne druhy a charakteristické hĺbky Borskej nížiny. Pre charakterizovanie vzťahu rastlina – vlhkostný potenciál boli na základe konvencie vybrané ich nasledovné body, t.j. body vlhkostnej retenčnej čiary.

- poľná vodná kapacita (PVK), $pF=2,5 - 3,0$ – charakterizuje maximálnu vlhkosť pôdy, ktorá sa udrží v pôdnom profile relatívne dlhší čas.
- bod zníženej dostupnosti (BZD), $pF=3,3$ – charakterizuje vlhkosť pôdy, pri ktorej sa podstatne znižuje možnosť využitia vody v pôde rastlinami.
- bod vädnutia (BV), $pF=4,18$ – charakterizuje takú vlhkosť pôdy, kedy sú rastliny trvale nedostatočne zásobované pôdnou vodou a vädnú.

Obsah vody v pôde medzi bodom PVK a BV (PVK – BV) je existenčným intervalom obsahu vody v pôde pre rastliny na danom stanovišti územia, pretože v tomto intervale je voda v pôde pre ne dostupná. Objem vody v tomto intervale je statická zásoba vody. Aby ju rastliny mohli využiť, musia mať rozvinutý koreňový systém a taký sací tlak, ktorý by bol schopný prekonať väzbu vody s pôdou. Pretože koreňový systém každej rastliny má iný sací tlak, rozmedzie vlhkostného potenciálu, v ktorom sa na danom stanovišti počas roka vyskytuje príslušný objem vody v zóne aerácie pôdy, ovplyvňuje tiež druh rastlinného krytu.

S využitím týchto hodnôt, t.j. kvantitatívnych hodnôt bodov PVK, BZD a BV, údajov o hĺbke pôdy, výmere oblasti výskytu pôdných druhov (mapy VÚPOP v mierke 1:50 000) sme stanovili zásoby vody v zóne aerácie o mocnosti 1,00 m poľnohospodárskych pôd Borskej nížiny, ktoré uvádzane v tabuľke 4.

Tabuľka 4 Zásoby vody v zóne aerácie pôd Borskej nížiny

Pôdny druh	Rozloha ha	Hĺbka cm	Hydrolimity			Zásoby vody v zóne aerácie v m ³		
			PVK	BZD	BV	PVK	BZD	BV
Ľahké pôdy (piesčité)	26 900	0 - 30	16,37	11,50	10,47	13 210 590	9 280 500	8 449 290
		31 - 80	19,10	14,21	10,62	25 689 500	19 112 450	14 283 900
		81 - 110	15,38	12,04	8,88	8 274 440	6 477 520	4 777 440
SPOLU						47 174 530	34 870 470	27 510 630
Stredne ťažké pôdy ľahšie (piesčito-hlinité)	2 100	0 - 30	13,83	11,96	9,17	871 290	753 480	577 710
		31 - 80	23,32	19,57	16,37	2 448 600	2 054 850	1 718 850
		81 - 110	21,58	16,97	13,48	906 360	712 740	566 160
SPOLU						4 226 250	3 521 070	2 862 720
Stredne ťažké pôdy (hlinité)	14 000	0 - 30	34,05	30,56	27,11	14 301 000	12 835 200	11 386 200
		31 - 80	35,09	31,58	26,85	24 563 000	22 106 000	18 795 000
		81 - 110	40,91	38,30	32,34	11 454 800	10 724 000	9 055 200
SPOLU						50 318 800	45 665 200	39 236 400
Ťažké pôdy (ilovitohlinité)	2 200	0 - 30	47,22	43,54	38,53	3 116 520	2 873 640	2 542 980
		31 - 80	53,07	49,44	41,00	5 837 700	5 438 400	4 510 000
		81 - 110	38,91	35,05	32,50	1 712 040	1 542 200	1 430 000
SPOLU						10 666 260	9 854 240	8 482 980
SPOLU	45 200					112 385 840	93 910 980	78 092 730

ZÁVER

V súvislosti s priestorovou a časovou variabilitou sa určovaniu hydrofyzikálnych charakteristík Borskej nížiny v minulosti venovala len malá pozornosť. Všeobecne možno konštatovať, že všetky spracované hydrofyzikálne parametre na území Borskej nížiny vykazujú značnú priestorovú a časovú variabilitu (ŠŤATOR, 1986). Je to možno aj z toho dôvodu, že v poľnohospodársky využívanej krajine má na dynamiku tohto vodného zdroja priamy vplyv antropogénna činnosť.

Literatúra

- ŠANTA, M., A. I. 1998. *Optimalizácia vodného režimu agroekosystému v regióne Záhorskej nížiny*. Záverečná správa ETRIS 1998, 156 s.
- ŠŤATOR, J. 1986. *Priestorová variabilita hydrofyzikálnych charakteristík pôd – Retenčné vlastnosti pôd*. Vodohospodársky časopis, roč. 34, 1986, č. 3, s. 284-313.
- ŠŤATOR, J. 1991. *Pôdna voda v systéme využiteľných vodných zdrojov*. Vodohospodársky časopis, roč. 39, 1991, č. 5-6, s. 135-137.
- ŠŤATOR, J. - IVANČO, J. 1994. *Vplyv porastu na dynamiku zásob vody v zóne aerácie*. In: Zborník Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. Zemplínska Šírava 1994, Bratislava: ÚH SAV, 1994, s. 201-205.
- ŠŤATOR, J. - MATI, R. 1993. *Retencia vody v zóne aerácie*. In: Zborník konferencie o VSN, Košice – Michalovce: PBAH, 1993, s. 126-132.

AKTUALIZOVANÝ VÝPOČET FAKTORA ERODOVATEĽNOSTI PÔDY (K-FAKTOR) ZA ÚČELOM GENEROVANIA DETAILNEJŠEJ DIGITÁLNEJ VRSTVY

UPDATED CALCULATION OF ERODIBILITY OF SOIL FACTOR (K-FACTOR) FOR THE PURPOSE OF DETAILED DIGITAL LAYER GENERATION

Ján STYK¹, Emil FULAJTÁR², Boris PÁLKA¹, Martin GRANEC²

Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava,

¹Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, P. O. Box 9, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: j.styk@vupop.sk

²Gagarinova 10, 827 13 Bratislava

Abstract

Updating of method for calculation of K-factor (soil erodibility) is very significant from the generation of detailed digital layer point of view. This layer is important element of USLE erosive and predictive model. Graphical as well as numerical outputs of USLE model (these outputs will be the basis for interactive assessment of soil erosion intensity) will have more detailed values. Interactive model for calculation of soil erosion intensity is created directly for the user (owner) of agricultural soil.

Basic source of data significant for the generation of K-factor digital layer are selective sites of General survey of agricultural soils of Slovakia. K-factor was calculated for every site using of basic characteristics (texture, organic matter content etc.). These data are related to every site of survey and for their optimal interpolation on the area was used the method of Ordinary Kriging.

Keywords: soil erodibility, USLE, K-factor, soil erosion

Abstrakt

Aktualizácia metodiky výpočtu K-faktora (erodovateľnosť pôdy) je dôležitá z hľadiska vygenerovania detailnejšej digitálnej vrstvy, ktorá je nevyhnutnou súčasťou erózneho predikčného modelu USLE. Grafické alebo numerické výstupy modelu USLE, ktorý bude podkladom aj pre on-line (interaktívny) odhad intenzity erózie, budú mať výpovednejšiu hodnotu a budú sa dať interpretovať aj v stredných a väčších mierkach. Interaktívny model výpočtu intenzity erózie bude v konečnom dôsledku slúžiť priamo užívateľovi poľnohospodárskej pôdy.

Základným zdrojom dát nevyhnutných pri tvorbe digitálnej vrstvy K-faktora sú výberové sondy Komplexného prieskumu pôd (cca 17 000). Z ich základných charakteristík (zrnitostné frakcie, obsah humusu) bol prepočítaný faktor erodovateľnosti pre každú sondu. Dáta vzťahujúce sa k jednotlivým výberovým sondám sú bodové hodnoty, a pre ich optimálne interpolovanie na plochu sme využili metódu Ordinary Kriging.

Kľúčové slová: erodovateľnosť pôdy, USLE, K-faktor, pôdna erózia

ÚVOD

Hoci už mnoho rokov prebieha rozvoj fyzikálne založených erózných modelov, ktoré hodnotia erózný proces oveľa komplexnejšie, v praxi stále nachádza najširšie uplatnenie model Univerzálnej rovnice straty pôdy - USLE (WISCHMEIER, SMITH, 1978). Je to práve vďaka jej relatívnej jednoduchosti a menším nárokom na vstupné údaje. Praktické využitie fyzikálne založených modelov viazne ani nie tak kvôli ich väčšej zložitosti a zvýšeným nárokom na kvalifikáciu personálu, ale najmä kvôli nedostupnosti vstupných údajov. Rovnica USLE má tvar:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$$

kde: A - množstvo odnesenej pôdy (t/ha/rok)

R - faktor eróznej účinnosti dažďa,

K - faktor protieróznej odolnosti pôdy (erodovateľnosť pôdy)

S - faktor sklonu svahu,

L - faktor dĺžky svahu,

C - faktor rastlinného krytu,

P - faktor protieróznych opatrení

Využitie USLE je aj napriek jej relatívnej jednoduchosti limitované dostupnosťou vstupných údajov. V minulosti sa viacerí autori na Slovensku pokúšali o rozpracovanie údajových súborov pre územie Slovenska. V súčasnej dobe je z pohľadu výpovednosti výstupov veľmi dôležité zamerať sa najmä na získanie nových informácií týkajúcich sa protieróznej odolnosti pôdy (K-faktor).

MATERIÁL A METÓDY

Vygenerovanie detailnejšej digitálnej vrstvy faktora erodovateľnosti pôdy je nevyhnutné z pohľadu jej ďalšieho využitia pri tvorbe tzv. on-line (interaktívneho) modelu pre výpočet intenzity vodnej erózie, ktorý bude slúžiť priamo užívateľovi poľnohospodárskej pôdy. Pre interaktívny výpočet straty pôdnej hmoty sa bude využívať predikčný erózný model USLE, kde faktor F je dôležitou súčasťou jeho základnej štruktúry.

Erodovateľnosť (erodibilita) pôdy je chápaná ako významný faktor ovplyvňujúci priebeh a intenzitu vodnej erózie. Výsledkom aktualizácie a detailizácie metodiky výpočtu K faktora sú jeho nové parciálne hodnoty, ktoré sú základom pre generovanie digitálnej vrstvy erodovateľnosti pôdy, ktorá je súčasťou základnej štruktúry erózneho modelu USLE.

Pri záverečnom spracovávaní digitálnych vrstiev jednotlivých erózných faktorov (ktoré sú súčasťou štruktúry modelu USLE) do grafickej podoby (v prostredí GIS) využívame dostupné informácie týkajúce sa pôdno-klimatických a geografických podmienok Slovenska.

K-faktor (faktor erodovateľnosti pôdy)

Pod pojmom erodovateľnosť pôdy chápeme jej senzitivitu podliehať vodnej erózii. Jedná sa o schopnosť pôdy infiltrovať zrážkovú vodu do pôdneho profilu (čím sa znižuje povrcho-

vý odtok) a odolnosť pred rozrušovaním pôdnych agregátov kinetickou energiou dažďových kvapiek a povrchovým odtokom. K-faktor vyjadruje odnos pôdy (v prípade čierneho úhoru) pripadajúci na jednotku R-faktora zo štandardnej erodomernej plochy so sklonom 9% a dĺžkou 22,13 m (WISCHMEIER, SMITH, 1978).

Faktor erodovateľnosti pôdy je determinovaný jej zrnitosťou, obsahom organickej hmoty, pôdnou štruktúrou a jej priepustnosťou pre vodu. Je chápaný ako priamy faktor vplývajúci na intenzitu vodnej erózie.

Priaznivé zrnitostné zloženie pôdy spolu s vyšším obsahom organickej hmoty vytvárajú podmienky na formovanie vhodnej pôdnej štruktúry (pevnejšie pôdne agregáty) a pórovitosti. V konečnom dôsledku to ovplyvňuje odolnosť pôdnych agregátov pred negatívnym vplyvom povrchového odtoku a zvyšuje sa infiltračná schopnosť pôdy. Povrchový odtok vody sa začína formovať vtedy, keď intenzita dažďa prekročí vsakovaciu schopnosť pôdy (pôda už nie je schopná infiltrovať vodu).

Čo sa týka jednotlivých zrnitostných kategórií väčšina autorov uvádza, že prachové častice najľahšie podliehajú erózii. Na hmotnostne ťažšie a väčšie pieskové častice musí voda vynaložiť väčšiu energiu aby sa dostali do pohybu preto sú menej erodovateľné. Relatívne najodolnejšie sú ílové častice, ktoré sa spájajú (kohézne sily) do pevných agregátov, ktoré dobre odolávajú negatívnemu vplyvu dažďovej vody (FULAJTÁR, JANSKÝ, 2001). Zastúpenie jednotlivých zrnitostných frakcií v pôde je ovplyvnené pôdotvorným substrátom. ANTAL (2005) uvádza, že najnižšiu rezistenciu pred eróziou majú pôdy vzniknuté na sprašových hlinách v dôsledku ich nízkej infiltračnej rýchlosti a nízkeho obsahu cementujúcich častíc.

Metodika výpočtu faktora erodibility pôdy

Výpovedná hodnota grafických a numerických výstupov erózneho modelu USLE je závislá od kvantity a kvality vstupných dát. V prípade faktora erodovateľnosti pôdy bude výrazným priblížením modifikácia dosiaľ použíwanej metodiky implementácie údajov K-faktora vo vzorci USLE.

Matematické vyjadrenie K-faktora predstavuje rovnica upravená podľa pôvodnej rovnice WISCHMEIERA A SMITHA (1978):

$$K = 0,0000021 [p(100 - i)]^{1,14} (12 - a) + 0,0325 (b - 2) + 0,025 (c - 3)$$

kde p je obsah prachu a veľmi jemného piesku v % (frakcia 0,002 - 0,1 mm),

i - obsah ílu v % (frakcia 0,002 mm).

a - obsah organickej hmoty (%),

b - parameter pôdnej štruktúry, určuje ho štvorstupňová stupnica celočíselných kódov:

1 - drobnohrudkovitá štruktúra

2 - hrudkovitá

3 - hrudovitá

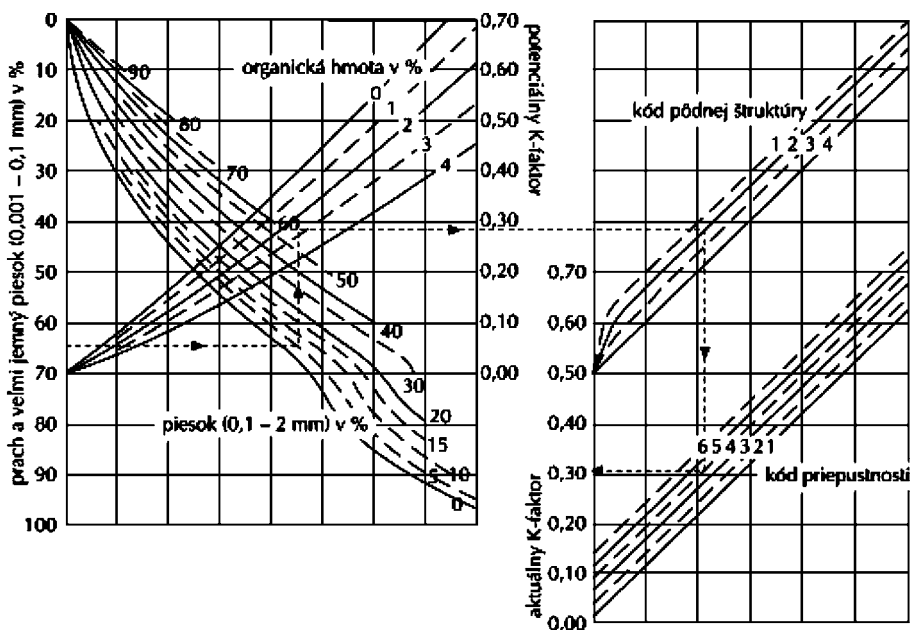
4 - polyedrická, prizmatická, doskovitá a masívna,

c - parameter pôdnej priepustnosti, určuje ho šesťstupňová stupnica celočíselných kódov:

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| 1 - veľmi pomalá priepustnosť | 4 - stredne rýchla |
| 2 - pomalá | 5 - rýchla |
| 3 - stredne pomalá | 6 - veľmi rýchla |

Uvedenej rovnici zodpovedá grafické riešenie K-faktora podľa nomogramu z ktorého možno približné hodnoty K-faktora rýchlo a jednoducho odčítať (Obr. 1).

Obrázok 1 Nomogram pre stanovenie K-faktora (WISCHMEIER, SMITH, 1978)



Pri používaní K-faktora treba mať na pamäti, že faktory štruktúra a priepustnosť sú na orných pôdach veľmi premenlivé. Pod štruktúrou a priepustnosťou, ako sú vyjadrené uvedenými stupnicami, sa myslí ich stav aký by bol, keby bola pôda v prirodzenom stave. Preto sa tieto dve premenné niekedy zanedbávajú a pracuje sa s tzv. potenciálnym K-faktorom závisiacim iba od pôdnej zrnitosti a obsahu humusu.

Výpočet hodnôt K-faktora z údajov výberových sond KPP

Na Slovensku je v databáze Komplexného prieskumu pôd (cca 17 000 výberových sond) k dispozícii veľký informačný potenciál o zrnitosti pôd a obsahu humusu pre kvantifikáciu pôdnej erodovateľnosti. Využitie údajov však naráža na metodické problémy, pretože klasifikácia pôdnej zrnitosti používaná na Slovensku sa líši od americkej klasifikácie používanej Wischmeierom a Smithom. Rozdiely sú v tom, že na Slovensku sa nerozlišuje frakcia veľmi jemného piesku (0,05 – 0,1 mm), ktorá sa pri výpočte K-faktora pripočítava k prachu (0,002 – 0,05 mm) a frakcia ílu (0–0,001 mm) nie je totožná s americkou frakciou (0–0,002 mm).

Odhad frakcie 0 – 0,002 mm

Odhadom frakcie 0-0,002 mm z údajov KPP sa zaoberal Nemeček a i. (2001). Zhodnotil regresnú závislosť obsahu frakcie 0-0,001 mm a 0-0,002 mm, ktoré boli stanovené pre testovací súbor obsahujúci 71 vzoriek. Výsledná regresná rovnica má tvar:

$$F_{0,002} = 1,1503 F_{0,001} + 2,3676 \quad (R^2 = 0,9748)$$

kde: $F_{0,002}$ je obsah zrnitostnej frakcie 0-0,002 mm (%)

$F_{0,001}$ je obsah zrnitostnej frakcie 0-0,001 mm (%)

Odhad frakcie 0,05-0,1 mm

Odhad obsahu frakcie 0,05-0,1 mm je založený na kumulatívnom súčte obsahu jednotlivých frakcií od najmenšej po najväčšiu.

Príklad kumulatívneho súčtu: ak máme nasledujúce zrnitostné zloženie pôdy:

0 – 0,001 mm:	20%
0,001 – 0,05 mm:	30%
0,05 – 0,25 mm:	40%
0,25 – 2 mm:	10%,

potom kumulatívny súčet bude:

0 – 0,001 mm:	20%
0 – 0,05 mm:	50%
0 – 0,25 mm:	90%
0 – 2 mm:	100%.

Tento kumulatívny nárast obsahu pôdnych častíc s narastajúcim priemerom však platí nielen ako súčet zrnitostných frakcií ale aj v rámci frakcií. Na základe tohto predpokadu možno obsah frakcie 0,05-0,1 mm odhadnúť ako proporcionálny podiel z obsahu frakcie 0,05-0,25 mm. Použili sme metódu odhadu z interpolovanej zrnitostnej krivky pomocou trigonometrických závislostí.

Princíp trigonometrického výpočtu obsahu frakcie 0,05-0,1 mm je nasledovný. Na grafe kumulatívnych obsahov zrnitostných frakcií uvažujeme myslený trojuholník. Preponou C trojuholníka je priamka spájajúca body vyjadrujúce kumulatívny obsah frakcií 0-0,05 mm a 0-0,25 mm vyjadrený v %. Odvesnou A je vzdialenosť priemeru pôdnych zŕn 0,05 mm a 0,25 mm na osi x. Odvesnou B je vzdialenosť medzi kumulatívnymi obsahmi frakcií 0-0,05 mm a 0-0,25 mm vyjadrený v % na osi y. Tento trojuholník nazveme $T_{0,25}$ a odvesny $A_{0,25}$ a $B_{0,25}$. Podobne uvažujeme trojuholník $T_{0,1}$ ktorého preponu tvorí priamka spájajúca body vyjadrujúce kumulatívny obsah frakcií 0-0,05 mm a 0-0,1 mm vyjadrený v %, odvesnu $A_{0,1}$ predstavuje vzdialenosť priemeru pôdnych zŕn 0,05 mm a 0,1 mm na osi x a odvesnu $B_{0,1}$ vzdialenosť medzi kumulatív-

nymi obsahmi frakcií 0-0,05 mm a 0-0,1 mm vyjadrený v % na osi y. Odvesna $B_{0,1}$ je neznáma. Obidva trojuholníky majú spoločný uhol α zvieraný preponou a odvesnou A. Pomocou tangensu tohto uhla možno vypočítať neznámu odvesnu $B_{0,1}$ a určiť tak približný obsah frakcie za predpokladu lineárneho kumulatívneho nárastu obsahu častíc s ich vzrastajúcim priemerom.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_{0,25}}{A_{0,25}} = \frac{B_{0,1}}{A_{0,1}} \quad \text{potom:} \quad B_{0,1} = \frac{B_{0,25}}{A_{0,25}} A_{0,1}$$

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výpočet K-faktora

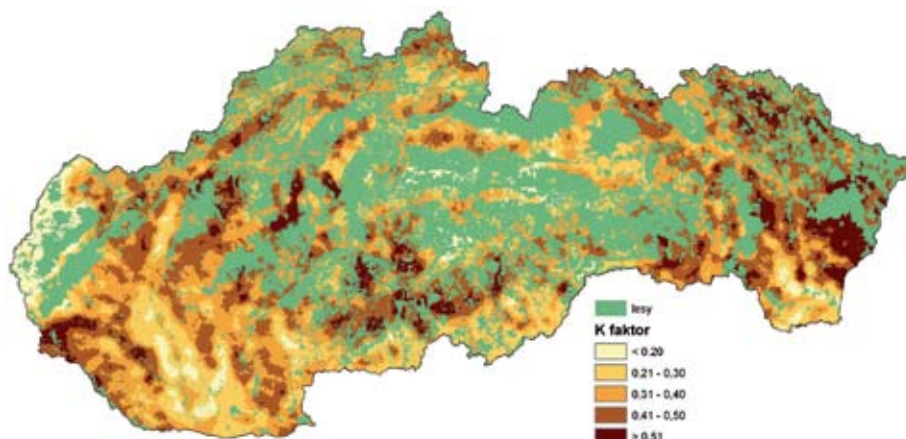
Za účelom výpočtu K-faktora zo zrnitostných údajov výberových sond KPP, ktorých je viac ako 17 000 (reprezentujú celý poľnohospodársky fond) sme realizovali odhad chýbajúcich frakcií pôdy. Metóda výpočtu faktora erodibility využívajúca základný výpočtový vzorec podľa metodiky Wischmeier, Smith (1978) je optimálna pre pôdy, ktorých obsah organickej hmoty nepresahuje 5%. Možno ju použiť aj pre pôdy s vyšším obsahom, ale v takom prípade narastá chyba a pre pôdy s obsahom humusu okolo 10% je metóda úplne nepoužiteľná.

Z nomogramu pre grafické vyjadrenie K-faktora (Obr. 1) je zrejme že pri pôdach ktorých obsah humusu sa blíži k 10% K-faktor začne nadobúdať záporné hodnoty, čo logický nemá zmysel. Tento problém by sa dal optimálne riešiť iba aplikovaním iných metód pre výpočet K-faktora špeciálne vyvinutých pre takéto extrémne pôdy. Vyžadovalo by si to však pomerne rozsiahle štúdium a testovanie možných metód ak nie vývoj úplne nových metód. Preto za súčasného stavu riešenia problematiky je jedinou možnosťou arbitrárne stanoviť spodnú hranicu hodnôt K-faktora pre silno humózne pôdy. Táto hranica bola expertným odhadom stanovená na 0,1.

Digitálna vrstva K-faktora

Základný podklad pri tvorbe vrstvy K-faktora (Mapa 1) sú výberové sondy Komplexného prieskumu pôd. Z ich základných charakteristík (zrnitostné frakcie, obsah humusu) sme prepočítali faktor erodovateľnosti pre každú sondu. Dáta vzťahujúce sa k jednotlivým výberovým sondám sú bodové hodnoty, preto bolo potrebné pre vrstvu faktora erodibility pôdy tieto údaje rozložiť do plochy. Na tento účel sme použili interpoláciu v prostredí GIS. Konkrétne sa jedná o interpolačnú metódu Kriging (Ordinary Kriging). Pre model semivariogramu sa zvolil sférický model pričom veľkosť bunky rastra bola 20 m (podobne ako pri všetkých vrstvách)

Mapa 1 Faktor erodovateľnosti pôdy (K)



ZÁVER

S cieľom vytvoriť interaktívny systém výpočtu intenzity vodnej erózie, ktorý bude slúžiť priamo užívateľovi poľnohospodárskej pôdy sme aktualizovali a detailizovali digitálnu vrstvu faktora erodovateľnosti pôdy (K). Vygenerovaná vrstva tohto erózneho faktora je nevyhnutným parciálnym výsledkom pri tvorbe erózneho modelu USLE. Tento model tvorí základ webovej aplikácie pre výpočet intenzity straty pôdy. Aktualizáciou a detailizáciou digitálnej vrstvy K-faktora dosiahneme výpovednejšie grafické aj numerické výstupy.

Pri generovaní digitálnej vrstvy erodovateľnosti pôdy sme využili hodnoty K-faktora, ktoré boli vypočítané pre konkrétne výberové sondy KPP (cca 17 000). Získané výsledky poskytujú pomerne podrobnú a reprezentatívnu informáciu o erodovateľnosti pôd pre celý poľnohospodársky pôdny fond Slovenska a sú vhodným vstupným podkladom pre výpočet potenciálnej erózie pôdy. Pri ich využívaní je potrebné rešpektovať metodické obmedzenia použitých metód a pokračovať v ďalšom výskume pôdnej erodovateľnosti. Týka sa to najmä hodnotenia erodovateľnosti pôd s vysokým obsahom organickej hmoty (viac ako 5%). Okrem toho je žiadúci aj výskum vodostálosti pôdných agregátov a priepustnosti pôd a praktického zakomponovania týchto parametrov do hodnotenia pôdnej erodovateľnosti.

Literatúra

- ALENA, F. 1991. *Protierózna ochrana na ornej pôde*. Metodická príručka. Bratislava: Štátna melioračná správa, 1991, 190 s.
- ANTAL, J. 2005. *Protierózna ochrana pôdy*. Nitra: SPU, 2005, 79 s. ISBN 80-8069-572-5.
- FULAJTÁR, E., - JANSKÝ, L. 2001. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. Bratislava: VÚPOP, 2001, 310 s. ISBN 80-85361-85-X.
- MALIŠEK, A. 1992. *Optimálna dĺžka svahu v závislosti na vodnej erózii*. In: Vedecké práce, Bratislava: VÚPÚ, 1992, s. 203 – 220, ISBN 80-85361-04-3.
- NEMEČEK, J., A I. 2001. *Taxonomický klasifikačný systém pôd České republiky*. Praha: ČZU, 2001, 79 s. ISBN 80-238-8061-6.
- STANKOVIANSKY, M. 2003. *Historical Evolution of Permanent Gullies in Myjava Hill Land, Slovakia*. *Catena* 51, 2003, p. 223-239.
- STYK, J. - PÁLKA B. *Assessment of soil sensitivity to water erosion using USLE model (in the scale of Slovakia)*. In: Proceedings. Vedecké práce VÚPOP č. 28. Bratislava: VÚPOP, 2007, p. 152-159. ISBN 978-80-89128-40-2.
- WISCHMEIER, W.H. - SMITH, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses – Guide to conservation planning*. Agricultural Handbook 537, USA: USDA, 1978, 58 p.
- ILAVSKÁ, B., - JAMBOR, P. - LAZÚR, R. 2005. *Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení*. Metodická príručka. Bratislava: VÚPOP, 2005, 60 s. ISBN 80-89128-22-X.
-

ZMENY OBJEMOVEJ HMOTNOSTI PÔD NA ZÁKLADE ÚDAJOV MONITORINGU PÔD SR

CHANGES OF SOIL BULK DENSITY ON THE BASIS OF SOIL MONITORING DATA OF SLOVAKIA

Miloš ŠIRÁŇ

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

Abstract

Problem of soil compaction mapping is not simple for deficit of needed data. Main indicator of soil compaction is soil bulk density, but these values are often missing in databases or in insufficient number and they could be filled with help of different mathematical models. In this paper the actual soil bulk density state in Slovakia within the 1. and 3. cycle of soil monitoring was evaluated and compared. This state changed for the worse in the case these soil types and soil textures:

- medium heavy Chernozems and Mollic Fluvisols on Calcaric also other substrats and heavy Calcaric Fluvisols in western part of Slovakia
- medium heavy Stagnosols and Rendzic Leptosols, respective heavy Calcaric Regosols in central Slovakia
- medium heavy Fluvisols and Luvisols in eastern part of Slovakia

Keywords: soil bulk density, mapping, monitoring

Abstrakt

Problém mapovania kompaktie nie je jednoduchý a borí sa predovšetkým s nedostatkom potrebných údajov. Je otázkou ako ich použiť, aby dochádzalo k čo najmenej skreslujúcim záverom. Medzi jej hlavné indikátory patrí objemová hmotnosť pôdy, ktorej hodnoty v databázach často chýbajú, alebo sú v nedostatočnom počte a dopĺňajú sa na základe rôznych modelov. V príspevku bol zhodnotený a porovnaný stav objemovej hmotnosti pôd SR v rámci prvého (1993) a tretieho (2002) odberového cyklu monitoringu pôd. K zhoršeniu, t.j. nárastu objemovej hmotnosti došlo na stredne ťažkých černoziach, čierniciach na nekarbonátových i karbonátových sedimentoch a ťažkých fluvizemiach na karbonátových substrátoch, v rámci stredného Slovenska na stredne ťažkých pseudoglejoch, príp. rendzinách a ťažkých regozemiach karbonátových, kým na východe Slovenska na stredne ťažkých fluvizemiach nekarbonátových a hnedozemiach.

Kľúčové slová: objemová hmotnosť pôdy, mapovanie, monitoring

ÚVOD

Objemová hmotnosť pôdy je hlavným indikátorom jedného z významných degradačných procesov – kompakcie pôd, ktorý ovplyvňuje nielen produkčnú funkciu pôdy, ale aj iné degradačné procesy pôdy a krajiny (erózia pôdy a krajiny – KOBZA A I., 2005), pričom sa s jej meraním počíta aj do budúcnosti v rámci monitoringu krajín EÚ (momentálne po harmonizácii jeho metód – Van-Camp a i., 2004). Jej hodnota je výsledkom pôsobenia viacerých faktorov, no v princípe ich možno zatriediť do dvoch kategórií, ktorými sú miera odolnosti pôdy voči kompakcii závislá od stavu jednotlivých pôdnych vlastností (vlhkosť pôdy, hlavne v čase vstupu mechanizmov na pôdu, textúra, obsah pôdnej organickej hmoty, obsah Ca...) a miera záťaže na pôdu prostredníctvom mechanizačných a dopravných prostriedkov (intenzita tlaku na pôdu ako aj rozsah prejazdenej plochy závislé od pestovateľských technológií rastlín). Keďže získavanie údajov objemovej hmotnosti je ekonomicky náročnejšie, hľadajú sa spôsoby odhadu kompakcie pôdy na základe nepriamych indikátorov možno dostupnejších v iných databázach. No vzhľadom na potrebu komplexného riešenia problému kompakcie pôd pre jej mnohofaktorovú povahu sa nedostatok potrebných údajov zatiaľ stáva prekážkou spoľahlivej identifikácie rizikových oblastí tohto nežiadúceho javu (ECKELMANN A I., 2006). V tomto príspevku sme sa snažili zhodnotiť údaje objemovej hmotnosti ako priameho indikátora získaných v rámci odberových cyklov monitoringu pôd SR a ukázať na jej vývoj.

MATERIÁL A METÓDY

Monitorovanie objemovej hmotnosti pôdy (OH) v základnej monitorovacej sieti SR je realizované v 5-ročných cykloch len na orných pôdach (OP) v rámci ornice (0-0,1 m), ktorá je predmetom hodnotenia v tomto článku, i podornice (0,3-0,35 m). Celkový počet monitorovacích lokalít základnej siete na orných pôdach je 214. Lokality sú rozdelené na základe pôdneho typu, typu, materskej horniny do 24 pôdnych skupín, pričom v týchto sme zohľadnili aj vplyv textúry (podskupiny – max. 5), keďže ovplyvňuje hodnoty objemovej hmotnosti pôdy a je potrebná aj pri hodnotení kompakcie pôd (ZÁKON 220/2004). Podľa priemerných hodnôt OH v skupinách resp. podskupinách boli pôdy zatriedené do 9 kategórií, ktorých hranice sú vytvorené prevažne na základe hodnôt limitov obsiahnutých v zmienenom zákone (legenda k obr. 1 a 2).

Objemová hmotnosť redukovaná sa stanovuje zvážením vysušenej (pri 105 °C do konštantnej hmotnosti) neporušenej pôdnej vzorky o objeme 100 cm³ odobratej v Kopeckého valčekoch. Podrobný postup stanovenia je uvedený v Záväzných metódach rozborov pôd (FIALLA A I., 1999).

Pri tvorbe mapových výstupov objemovej hmotnosti pôdy v orničnom horizonte (0-0,1 m) pre pôdy Slovenska sme vychádzali z digitálnej údajovej vrstvy orných pôd pre mapu Slovenska 1:400 000, ktorá reprezentuje plošné zastúpenie jednotlivých pôdnych asociácií (na základe pôdnych typov a subtypov) v rámci SR. Pre rozčlenenie orných pôd SR podľa pôdnych

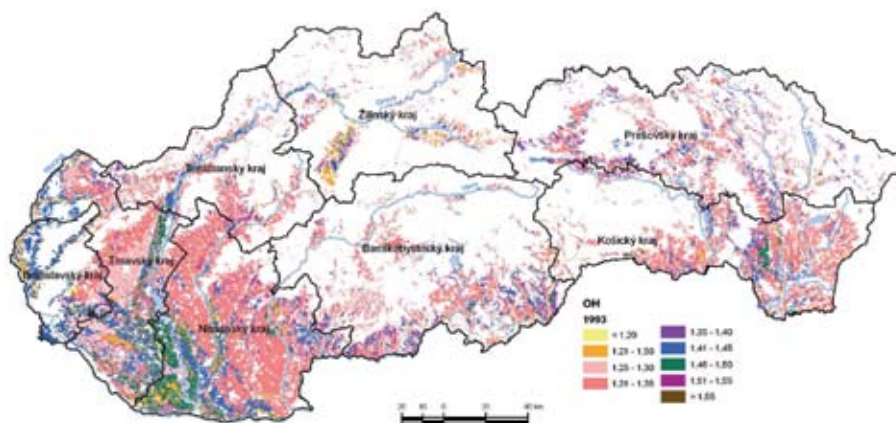
druhov bola využitá mapa bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ). Na základe údajov LPIS (Identifikačný systém produkčných blokov na poľnohospodárskej pôde) z augusta 2006 bolo územie poľnohospodárskych pôd na Slovensku rozdelené na orné pôdy a trvalé trávne porasty. Aby sa zachovalo aj určité regionálne rozdelenie, objemová hmotnosť bola hodnotená aj podľa krajov. Hranice krajov SR boli prevzaté zo spojitkej vektorovej mapy 1:50 000 Geografického a kartografického ústavu a Arc GEO s.r.o. z roku 2002. Pre prácu so vstupnými georeferencovanými digitálnymi údajmi a implementáciu výslednej digitálnej údajovej vrstvy bol využitý programový balík ArcGIS®. Podrobný popis postupu tvorby týchto mapových výstupov je uvedený v predchádzajúcich prácach (BARANČIKOVÁ A I., 2008; ŠIRAŇ, MAKOVNÍKOVÁ, PÁLKA, 2008).

Oblasti so zmenou OH medzi prvým (1993) a dosiaľ posledným (2002) monitorovacím cyklom boli vymedzené prekrytím vytvorených digitálnych vrstiev jednotlivých odberových rokov.

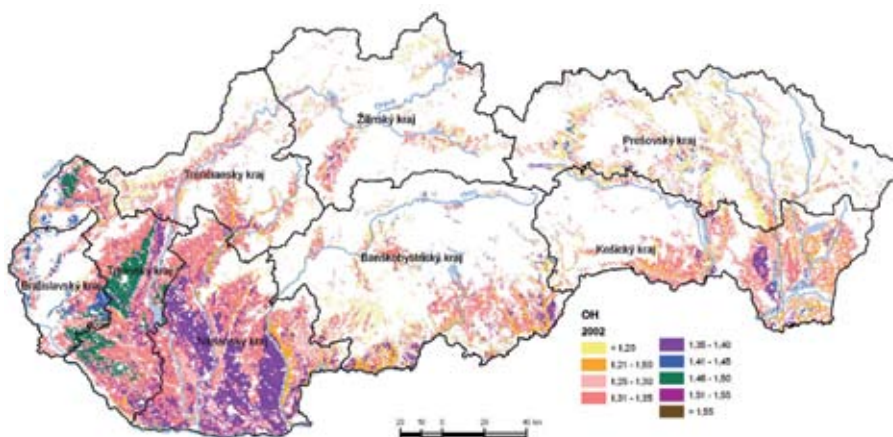
VÝSLEDKY A DISKUSIA

V nedávnej minulosti bolo aj na Slovensku viacero pokusov o mapovanie kompaktie pôdy, ktoré sa opierali o odhady vychádzajúce s praktických poznatkov získaných v praxi pri meraní OH, príp. penetrometrického odporu pôdy. Viaceré využívali ako podklad mapy BPEJ, resp. predovšetkým údaje o zrnitosti pôdy a v niektorých prípadoch aj údaje o vyhranených (vzhľadom na kompakciu) pôdnych typoch (ŽRUBEC, 1998; HOUŠKOVÁ, 2002). V tomto príspevku sa pri tvorbe máp vychádzalo z experimentálne nameraných údajov OH pôdy v rámci monitoringu pôd SR, pričom tieto výstupy budú slúžiť priamo k odhadu rizika kompaktie na jednotlivých pôdach. Boli vytvorené mapy za prvý (Obr. 1) a tretí (Obr. 2) monitorovací cyklus a ich prekrytím sa zvýraznili zmeny (Obr. 3), ktoré prebehli v pôde.

Obrázok 1 Mapa stavu objemovej hmotnosti pôd SR podľa údajov 1. odberového cyklu (rok 1993) monitoringu pôd



Obrázok 2 Mapa stavu objemovej hmotnosti pôd SR podľa údajov 3. odberového cyklu (rok 2002) monitoringu pôd



Tabuľka 1 Plošné zastúpenie pôd (% z výmery orných pôd SR) v rámci jednotlivých kategórií v 1. a 3. odberovom cykle monitoringu pôd SR

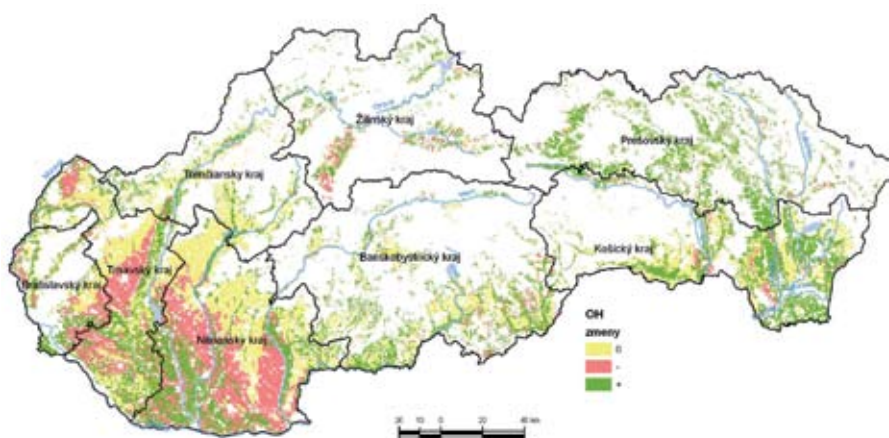
Kategórie objemovej hmotnosti	1993	2002
<1,20	1,7	7,1
1,20-1,25	4,7	8,7
1,25-1,30	12,7	17,1
1,31-1,35	53,9	43,7
1,35-1,40	5,7	16,1
1,40-1,45	15,3	2,2
1,45-1,50	4,8	5,0
1,51-1,55	-	-
>1,55	1,1	-

Konkrétnejšie údaje pre porovnanie stavu v jednotlivých odberových cykloch sú v tabuľkách 1 až 3. V tabuľke 1 je uvedené plošné zastúpenie pôd v jednotlivých kategóriách OH pôdy. Hodnoty OH v treťom cykle sú v porovnaní s prvým priaznivejšie, keď pod najnižší zákonom stanovený limit $1,35 \text{ g.cm}^3$ (pre íly) spadá v prvom cykle 73 % a v treťom 76,7 % plochy orných pôd, ale lepší stav je aj v rámci vyšších kategórií ($> 1,35 \text{ g.cm}^3$). Čo sa týka zastúpenia pôdných typov a druhov v potenciálne rizikových kategóriách ($> 1,35 \text{ g.cm}^3$ – Tab.2) svojimi priemernými hodnotami prekračujú limit len ťažké černoze, čiernice a pseudogleje v niektorých krajoch v 1. cykle odberu (ich hodnoty sú $> 1,4 \text{ g.cm}^3$) a na hranici sú aj stredne ťažké černoze v bratislavskom a trnavskom kraji v 3. cykle.

Tabuľka 2 Zastúpenie pôdnych typov a druhov v rámci potenciálne rizikových kategórii ($>1,35 \text{ g.cm}^3$) v 1. a 3. odberovom cykle monitoringu pôd SR

Kategória OH	1993	2002
1,35-1,40	ťažké: PG, HM, KM, RM	ľahké: RM ^c , RA stredne ťažké: ČM, ČA ^c , HM, PG ťažké: ČM, ČA ^c , HM
1,40-1,45	ľahké: väčšina pôdnych typov stredne ťažké: RM ^c , FM ^c ťažké: PG, ČA	ľahké: PG, HM, KM, RM stredne ťažké: ČA, RA
1,45-1,50	ťažké: ČM, ČA ^c	stredne ťažké: ČM
>1,55	ľahké: FM	-

Obrázok 3 Mapa zmien objemovej hmotnosti pôd SR medzi 1. a 3. odberovým cyklom (medzi rokmi 1993 a 2002) monitoringu pôd



Tabuľka 3 Zmeny objemovej hmotnosti pôdy medzi 1. a 3. odberovým cyklom v rámci krajov i celého Slovenska podľa údajov monitoringu pôd SR

Zmeny OH v %	BA	TT	TN	NI	ZA	BB	PO	KE	SR
0	27,0	35,8	53,8	30,6	15,9	37,9	21,8	34,0	32,8
-	32,5	32,2	3,7	38,4	25,5	8,7	6,2	7,1	23,0
+	40,5	32,0	42,5	31,0	58,7	53,4	71,9	58,9	44,2

Vysvetlivky: 0 bez zmeny, - negatívna zmena, + pozitívna zmena

Rozdiely medzi odberovými cyklami v rámci SR i jednotlivých krajov sú asi najprehľadnejšie vyjadrené na obrázku 3 a v tabuľke 3, pričom možno vidieť aké trendy v akom rozsahu a v ktorých oblastiach sa prejavujú. V podmienkach západného Slovenska (prevažne Nitrianskeho kraja) porovnaním priemerných hodnôt OH jednotlivých pôdnych typov medzi prvým (1993) a posledným (2002) monitorovacím cyklom bol zistený negatívny trend (t.j. nárast hodnôt OH pôd) na stredne ťažkých černoziach, čierniciach na nekarbonátových i karbonáto-

vých sedimentoch a ťažkých fluvizemiach na karbonátových substrátoch, v rámci stredného Slovenska na stredne ťažkých pseudoglejoch, príp. rendzinách a ťažkých regozemiach karbonátových, kým na východe Slovenska na stredne ťažkých fluvizemiach nekarbonátových a hnedozemiach.

ZÁVER

V príspevku bol zhodnotený a porovnaný stav kompakcie pôd SR v rámci prvého (1993) a tretieho (2002) odberového cyklu monitoringu pôd. K zhoršeniu, t.j. nárastu objemovej hmotnosti došlo na stredne ťažkých černoziach, čierniciach na nekarbonátových i karbonátových sedimentoch a ťažkých fluvizemiach na karbonátových substrátoch, v rámci stredného Slovenska na stredne ťažkých pseudoglejoch, príp. rendzinách a ťažkých regozemiach karbonátových, kým na východe Slovenska na stredne ťažkých fluvizemiach nekarbonátových a hnedozemiach.

Literatúra

- BARANČIKOVÁ, G. - MAKOVNÍKOVÁ, J. 2008. *Prístup k tvorbe mapy obsahu organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. In: Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov: Sobocká, J. - Kulhavý, J. (eds.). Bratislava, 2008, s. 345-351 ISBN 978-80-89128-44-0.
- ECKELMANN, W. - BARITZ, R. - BIALOUSZ, S. - BIELEK, P. - CARRÉ, F. - HOUSKOVÁ, B. - JONES, R.J.A. - KIBBLEWHITE, M. - KOZAK, J. - LE BAS, C. - TÓTH, G. - TÓTH, T. - VÁRALLYAY, G. - HALLA, M.Y. - ZUPAN, M. 2006. *Common criteria for risk area identification according to soil threats: European Soil Bureau Research Report No.20, EUR 22185 EN*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006. 94 p.
- FIALA, K., A. I. 1999. *Záväzné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – pôda*, Bratislava: VÚPOP, 1999, 142 s. ISBN 80-85361-55-8.
- HOUSKOVÁ, B. 2002. *Vývoj fyzikálnych vlastností poľnohospodárskych pôd*. In: Kobza, J. a i. *Monitoring pôd SR. Výsledky ČMS – pôda za obdobie 1997-2001 (2. cyklus)*, Bratislava: VÚPOP, 2002, s. 131-141.
- KOBZA, J. - BARANČIKOVÁ, G. - MAKOVNÍKOVÁ, J. - STYK, J. - ŠIRÁŇ, M. - VOJTÁS, J. 2005. *Návrh regulačných pôdochranných opatrení z výsledkov Monitoringu pôd SR*. Bratislava: VÚPOP, 2005, 24 s. ISBN 80-89128-21-1.
- ŠIRÁŇ, M. - MAKOVNÍKOVÁ, J. - PÁLKA, B. 2008. *Prístup k tvorbe mapy objemovej hmotnosti na orných pôdach Slovenska*. In: Pôda v modernej informačnej spoločnosti. Zborník príspevkov. Sobocká, J. - Kulhavý, J. (eds.) Bratislava, 2008, s. 713-716 ISBN 978-80-89128-44-0.
- VAN-CAMP, L. - BUJARRABAL, B. - GENTILE, A-R. - JONES, R.J.A. - MONTANARELLA, L. - OLAZABAL, C. - SELVARADJOU, S-K. 2004. *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/5, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004, 872 p.
- ZÁKON č. 220/2004 Zb. *O ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene a doplnení niektorých zákonov*.
- ZRUBEC, F. 1998. *Metodika úrodnosti zhutnených pôd*. Bratislava: VÚPOP, 1998, 40 s. ISBN 80-85361-39-6
-

PRODUKČNÁ ÚČINNOSŤ ZÁVLAHY – POĽNÝ STACIONÁRNY POKUS

IRRIGATION WATER USE EFFICIENCY – FIELD STATIONARY EXPERIMENT

Jozef TAKÁČ

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

Abstract

The main objective of this paper is to evaluate irrigation water use efficiency at crop production level. Evaluation is based on experimental data from the field stationary experiment carried out during the period 1973–2006. There were 7 variants of fertilization in both rainfed and irrigated blocks in experiment every year. Relations between crop yield, evapotranspiration and amount of water applied to the field were studied. Positive effect of irrigation was found in crops with growing period culminating in summer months (maize, sugar beet), while irrigation of cereals were less effective. Yields of cereals on irrigated plots were lower than on rainfed ones in some years. Calculated mean values of water use efficiency were higher on the rainfed plots than on the irrigated ones. Irrigation water use efficiency was highest in dry years with low irrigation amount applied.

Keywords: water use efficiency, irrigation, yield, evapotranspiration, precipitation

Abstrakt

Cieľom tohto príspevku je vyhodnotiť produkčnú účinnosť závlahy. Hodnotenie je založené na údajoch z poľného stacionárneho pokusu z obdobia 1973–2006. V pokuse bolo každoročne 7 variantov hnojenia v blokoch bez závlahy a so závlahou. Študované boli vzájomné vzťahy medzi hospodárskymi úrodami, evapotranspiráciou a množstvom dodanej vody. Pozitívny účinok závlahy sa prejavil hlavne u plodín s vegetačným obdobím vrcholiacim v letných mesiacoch (kukurica, cukrová repa), kým závlaha hustosiatych obilnín bola menej účinná. V niektorých rokoch bola úroda hustosiatych obilnín na zavlažovaných variantoch nižšia ako úroda na nezavlažovaných variantoch. Vypočítané stredné hodnoty produkčnej účinnosti využitia vody boli vyššie na nezavlažovaných variantoch ako na zavlažovaných. Produkčná účinnosť závlahy bola najvyššia v suchých rokoch a malom množstve závlahovej vody.

Kľúčové slová: účinnosť využitia vody, závlaha, úroda, evapotranspirácia, zrážky

ÚVOD

Vlhkostný režim významnou mierou ovplyvňuje produkčnú schopnosť pôd. Dostatočné množstvo vody v pôde je nevyhnutným predpokladom úspešného hospodárenia. Úrody plodín v jednotlivých rokoch sú závislé na množstve a rozdelení zrážok počas vegetačného obdobia. Naše hlavné produkčné oblasti sa nachádzajú v nížinách, pre ktoré sú vo vegetačnom období typické nižšie zrážkové úhrny ako sú úhrny potenciálnej evapotranspirácie a preto vodný stres významne ovplyvňuje výšku úrod v týchto regiónoch. Na zmiernenie týchto nepriaznivých podmienok boli v SR vybudované závlahy na viac ako 300 000 ha poľnohospodárskej pôdy.

Problematika regulovania produkčného procesu závlahou, hnojením a ďalšími faktormi bola sledovaná na bývalom Výskumnom ústave závlahového hospodárstva v Bratislave (VÚZH). Stabilizačná funkcia závlahy a hnojenia na úrody pestovaných plodín bola skúmaná v poľnom stacionárnom pokuse na Výskumnej a prevádzkovej stanici (VPS) v Moste pri Bratislave založenom v roku 1973. Dlhodobo usmerňované hnojenie a zachované kombinácie živín za obdobie 34 rokov vytvorili v pôde podmienky živinových režimov, ktoré umožňujú zhodnotiť vzťahy a zistiť podmienky optimálnej výživy a závlahy plodín jednotlivými živinami pri súčasnej ochrane životného prostredia.

V praxi sa stretávame so skutočnosťou, že niekedy sú úrody pod závlahou menšie ako potenciálne dosiahnuteľné, čo sa často pripisuje nesprávne zvolenému závlahovému režimu za daných klimatických a pôdnych podmienok. Závlahy sú tiež jedným z navrhovaných opatrení na zmiernenie dôsledkov zmeny klímy na rastlinnú produkciu zabezpečujúcich stabilizáciu úrod. Produkčný účinok závlahy na úrody plodín je v závislosti od klimatických podmienok, pôdnej úrodnosti a plodín rozdielny a preto ho je potrebné pri návrhu adaptačných a zmiernovacích opatrení poznať a zohľadniť.

Cieľom tohto príspevku je základné štatistické vyhodnotenie produkčnej účinnosti využitia vody plodinami z tohto experimentu za celé obdobie jeho trvania, teda od roku 1973 do roku 2006. Hodnotenie využitia závlahovej vody na úrovni rastlinnej produkcie je založené na vzťahoch medzi úrodou plodiny, evapotranspiráciou a množstvom vody dodanej plodine.

MATERIÁL A METÓDY

Poľný stacionárny pokus na VPS v Moste pri Bratislave bol založený na hlinitej černozemi karbonátovej s obsahom humusu 3,2 % so štrkovým horizontom v hĺbke 1,2 m. Hladina podzemnej vody je v štrkovom horizonte v hĺbke 8 m a teda neovplyvňuje obsah vody v pôde. Priemerná ročná teplota vzduchu v lokalite VPS je 9,8 °C a priemerná teplota vzduchu za letný polrok (apríl až september) je 16,2 °C. Priemerné zrážkové úhrny za rok a letný polrok dosahujú 554 mm, resp. 317 mm.

V poľnom stacionárnom pokuse založenom v roku 1973 bolo počas celého obdobia sedem variantov hnojenia v blokoch pod závlahou a bez závlahy s rôznymi dávkami N, P a K s každoročnými kombináciami hnojenia O, NP, PK, NK, NPK, N₁PK, N₁P₁K₁. Index 1 zodpovedá 1,5

násobnej dávke príslušnej živiny, variant O bol bez hnojenia (BÍŽIK, 1999). V priebehu obdobia 1973–2006 boli ozimná pšenica, jarný jačmeň a kukurica na zrno pestované 7-krát a cukrová repa a kukurica na siláž boli v pokuse 4-krát. Lucerna bola vysiatá 4 roky a hrach sa v pokuse vyskytol 1-krát. Za toto obdobie sa vysriedali viaceré odrody jednotlivých plodín.

Meteorologické údaje boli merané na meteorologickej stanici umiestnenej na VPS v Mos-
te pri Bratislave. Chýbajúce údaje z rokov, keď boli merania prerušené, boli doplnené podľa údajov z meteorologickej stanice Bratislava – letisko. Charakteristiky evapotranspirácie boli počítané podľa metodiky FAO (ALLEN A I., 1998).

Vplyv faktorov prostredia a vplyv štruktúrnych a funkčných charakteristík rastlín na vzťah medzi produkciou sušiny a spotrebou vody sa vyjadruje pomocou pojmu **účinnosť využitia vody**. Všeobecne je účinnosť využitia vody pre produkciu sušiny ω_p definovaná ako podiel produkcie sušiny a spotreby vody [g sušiny.l⁻¹ H₂O], pričom hodnota spotreby vody zodpovedá celkovej evapotranspirácii porastu (LARCHER, 1988).

Na vyjadrenie účinnosti využitia vody sa používajú rôzne vzťahy (BOS, 1985; LARCHER, 1988; SUN A I., 2006), pričom aj ich označenie sa podľa autorov líši (napr. ω_p , R_{y_e} , E_y , WUE_{ET}). Pre účely nášho hodnotenia sme použili nasledujúce vzťahy:

1. účinnosť závlahy IE [%]

$$IE = \frac{Y_i}{Y_r} * 100 \quad (1)$$

kde Y_i je hospodárska úroda zavlažovanej plodiny a Y_r je hospodárska úroda nezavlažovanej plodiny [kg.ha⁻¹];

2. produkčná účinnosť využitia vody WUE [kg.mm⁻¹]

$$WUE = \frac{Y}{ET} \quad (2)$$

kde Y je hospodárska úroda plodiny [kg.ha⁻¹] a ET je aktuálna evapotranspirácia plodiny od sejby do zberu [mm];

3. produkčná účinnosť využitia závlahovej vody IWUE [kg.mm⁻¹]

$$IWUE = \frac{Y_i - Y_r}{I} \quad (3)$$

kde I je množstvo dodanej závlahovej vody [mm].

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Závlaha je považovaná za účinný spôsob na zmiernenie alebo elimináciu vodného stresu plodín. Základné štatistické charakteristiky účinnosti závlahy podľa výsledkov poľného stacionárneho pokusu sú uvedené v tab. 1. Ako vidieť, vplyv závlahy na úrody sa prejavuje viac u plodín, ktorých vegetačné obdobie zasahuje do letných mesiacov. U hustosiatych obilnín

bola závlaha menej účinná a v niektorých rokoch boli dokonca dosiahnuté nižšie úrody pod závlahou ako bez závlahy.

Z údajov uvedených v tabuľke 1 stoja za zmienku výrazné rozdiely medzi strednými hodnotami **aritmetický priemer** a **medián**. Hodnoty aritmetického priemeru sú ovplyvnené vysokými hodnotami z rokov, keď v dôsledku nepriaznivých zrážkových pomerov bola závlaha mimoriadne účinná. Pri kukurici na zrno to bolo v roku 1990, keď od sejby do zberu kukurice spadlo len 282 mm zrážok, pričom v júni napršalo 31 mm, v júli 30 mm a v auguste len 16 mm. Kým na nezavlažovaných blokoch sa úroda zrna pohybovala od 1,1 t.ha⁻¹ do 1,9 t.ha⁻¹, na zavlažovaných blokoch dosiahla úroda zrna kukurice 7,0 t.ha⁻¹ až 10,1 t.ha⁻¹. Podobná situácia sa vyskytla aj v roku 1976 a 1978, keď bola vysiata cukrová repa, resp. kukurica na siláž.

Tabuľka 1 Štatistické charakteristiky účinnosti závlahy IE [%] podľa výsledkov poľného stacionárneho pokusu na VPS v Moste pri Bratislave za obdobie 1973–2006

Plodina	Počet rokov	Priemer	Medián	Minimum	Maximum
Ozimná pšenica	7	9	9	-14	84
Jarný jačmeň	7	3	0	-28	54
Kukurica na zrno	7	92	30	4	727
Kukurica na siláž	4	174	33	6	744
Cukrová repa	4	42	26	11	108
Lucerna	4	47	34	3	151

Tabuľka 2 Hodnoty mediánu množstva dodanej závlahovej vody [mm], charakteristík evapotranspirácie [mm] a charakteristík účinnosti využitia vody poľnými plodinami [kg.mm⁻¹]

Plodina	Závlaha [mm]	ET [mm]	ET _{max} [mm]	ET/ET _{max} [-]	WUE [kg.mm ⁻¹]	IWUE [kg.mm ⁻¹]
Ozimná pšenica	60	540	623	0,859	11,29	7,92
	0	487	623	0,775	11,28	-
Jarný jačmeň	40	397	441	0,961	12,35	0,14
	0	394	441	0,925	13,43	-
Kukurica na zrno	140	600	683	0,863	17,46	21,90
	0	407	683	0,596	20,93	-
Cukrová repa	220	718	860	0,876	98,08	87,96
	0	495	860	0,566	115,26	-

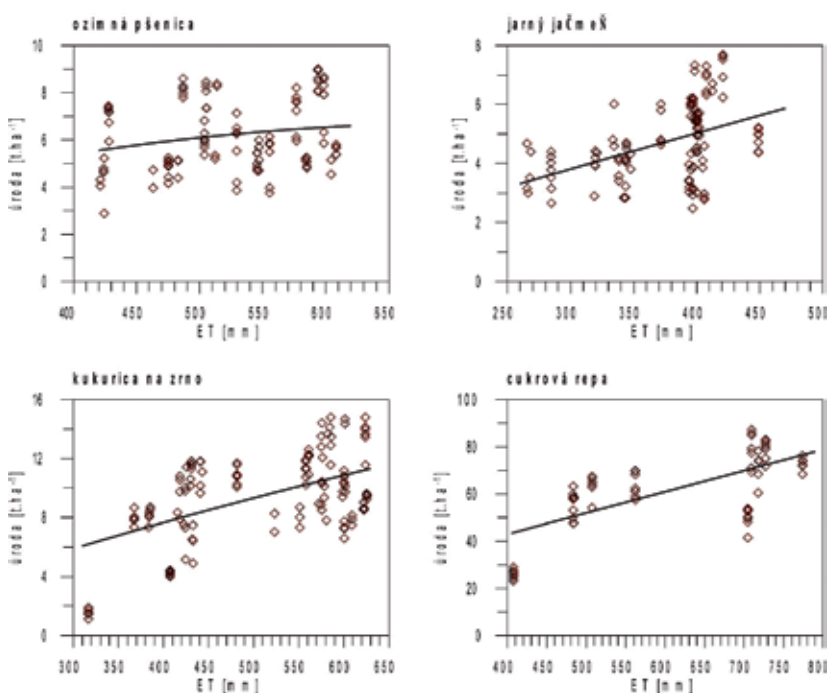
Spôsob hodnotenia efektívnosti závlahy podľa vzťahu (1) je u nás zaužívaný, ale je nepostačujúci z hľadiska ďalších potrieb, napr. hodnotenia ekonomiky zavlažovania. Pre potreby praktického využitia je vhodnejšie vyjadrovať efektívnosť závlahy pomocou vzťahov zahrňujúcich aj množstvo dodanej, resp. spotrebovanej vody.

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty mediánu charakteristík evapotranspirácie a účinnosti využitia vody plodinami. Hodnoty ET_{max} predstavujú potenciálne množstvo vody, ktoré pot-

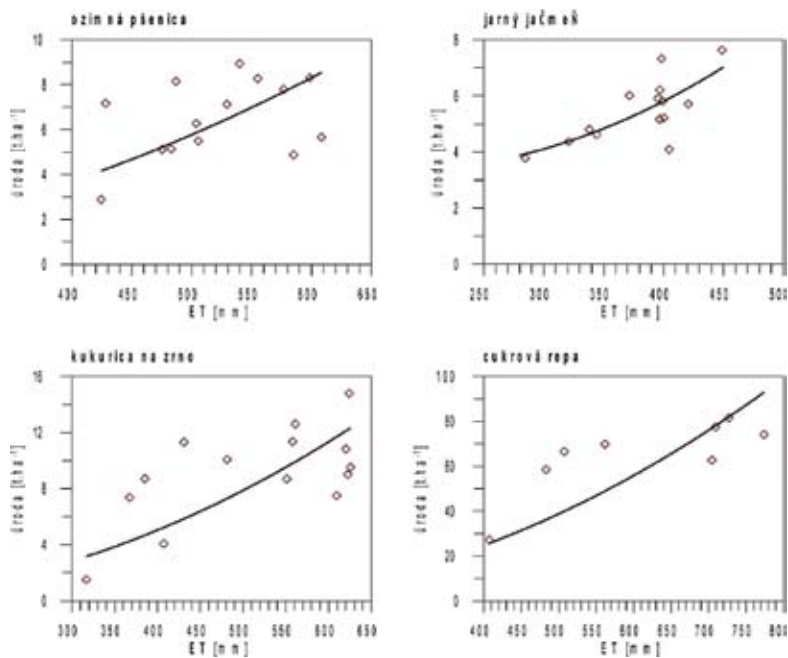
rebuje za daných meteorologických podmienok porast danej plodiny na výpar a transpiráciu pre optimálny rast biomasy a tvorbu úrody. Limitujúcim faktorom evapotranspirácie je zásoba vody v pôde. Hodnota ET/ET_{max} vyjadruje pokrytie vlahovej potreby plodiny. Podľa hodnôt mediánu ET/ET_{max} bola každý druhý rok v podmienkach bez závlahy vlahová potreba jarného jačmeňa pokrytá aspoň na 92 %, ozimnej pšenice na 77 %, kukurice na 60 % a cukrovej repy na 57 %. Za sledované obdobie bola najviac z prirodzených zdrojov pokrytá vlahová potreba jarného jačmeňa v roku 1999 (99 %), najmenej kukurice v roku 1990 (48 %) a cukrovej repy v roku 1976 (51 %). Závlahou bola zvýšená táto hodnota na 86 % (kukurica) až 96 % (jarný jačmeň). Pozoruhodná je skutočnosť, že hodnota mediánu pre ET nezavlažovaného jarného jačmeňa je blízka hodnote mediánu ET zavlažovaného jarného jačmeňa.

Hodnotenie sťažovalo veľké variačné rozpätie pozorovaných úrod v dôsledku 7 variantov hnojenia a striedania odrôd, ako to dokumentuje aj obrázok 1, na ktorom je znázornený vzťah medzi ET a úrodou jednotlivých plodín a obrázok 3, na ktorom je znázornená závislosť výšky úrod od hodnôt ET/ET_{max} . Pri použití údajov len z jedného variantu hnojenia je závislosť medzi ET a úrodou zreteľnejšia (Obr. 2).

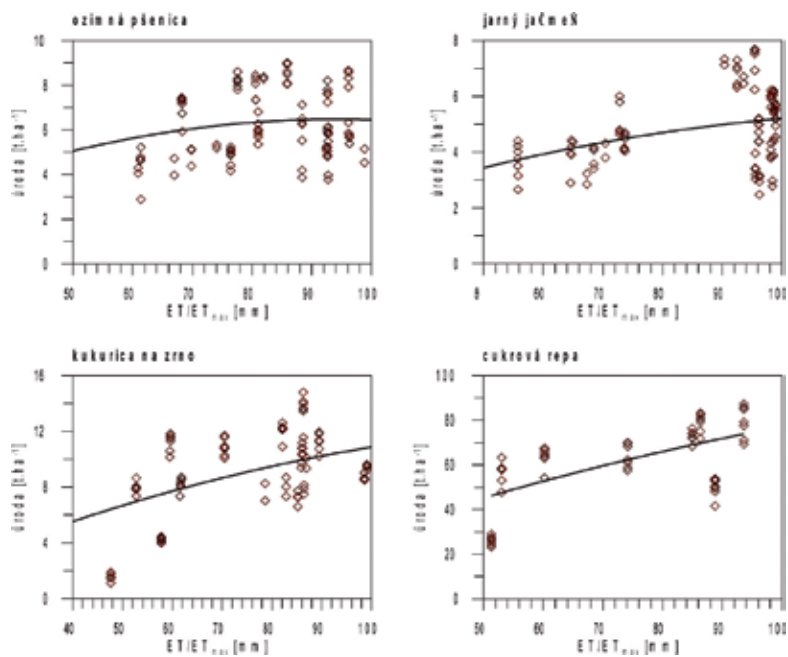
Obrázok 1 Vzťah medzi aktuálnou evapotranspiráciou (ET) a úrodou plodín (všetky varianty)



Obrázok 2 Vzťah medzi aktuálnou evapotranspiráciou (ET) a úrodou plodín (variant 5, hnojenie NKP - zavlažovaný a nezavlažovaný)



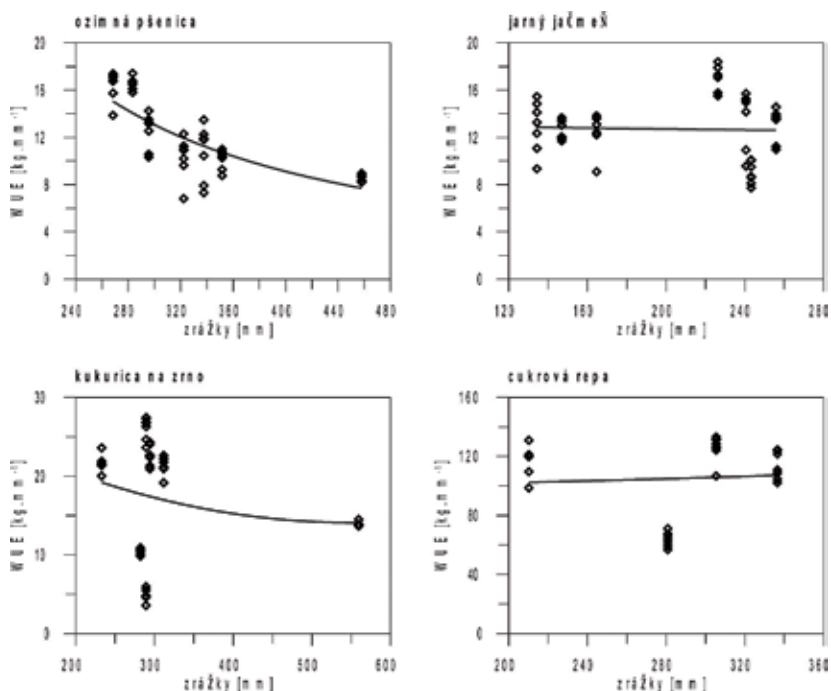
Obrázok 3 Vzťah medzi relatívnou evapotranspiráciou (ET/ET_{max}) a úrodou plodín (všetky varianty)



Produkčná účinnosť využitia vody WUE ozimnej pšenice sa pohybovala od 6,8 kg.mm⁻¹ do 17,4 kg.mm⁻¹, pričom 50 % vypočítaných hodnôt bolo v intervale od 9,8 kg.mm⁻¹ do 14,7 kg.mm⁻¹. WUE jarného jačmeňa dosahovala 6,2 kg.mm⁻¹ až 18,4 kg.mm⁻¹, z toho 50 % vypočítaných hodnôt bolo v intervale od 10,5 kg.mm⁻¹ do 14,8 kg.mm⁻¹. WUE kukurice sa kolísala od 4,6 kg.mm⁻¹ pri najnižších úrodách do 27,4 kg.mm⁻¹ pri najvyšších úrodách. Pri cukrovej repke bolo rozpätie hodnôt WUE od 56,8 kg.mm⁻¹ do 133 kg.mm⁻¹. S výnimkou hodnoty mediánu u ozimnej pšenice sú stredné hodnoty WUE vyššie na nezavlažovanej pôde ako na zavlažovanej pôde.

Všeobecne možno konštatovať, že pri vyšších úrodách bola vypočítaná aj vyššia účinnosť využitia vody. Na druhej strane, zrážkové úhrny, resp. množstvo vody dodané do systému, nie je jediným rozhodujúcim faktorom determinujúcim účinnosť využitia vody plodinami a tak zo získaných výsledkov nie je možné stanoviť jednoznačnú závislosť. Pre ozimnú pšenicu bola najvyššia WUE v roku 1984 s najmenšími zrážkovými úhrnmi za vegetačné obdobie a postupne s narastajúcimi zrážkovými úhrnmi klesala (Obr. 4). Pre ostatné plodiny bola táto závislosť prekrytá ďalšími faktormi prostredia a hospodárenia.

Obrázok 4 Závislosť medzi úhrnom atmosférických zrážok za vegetačné obdobie a WUE (nezavlažované, všetky varianty hnojenia)

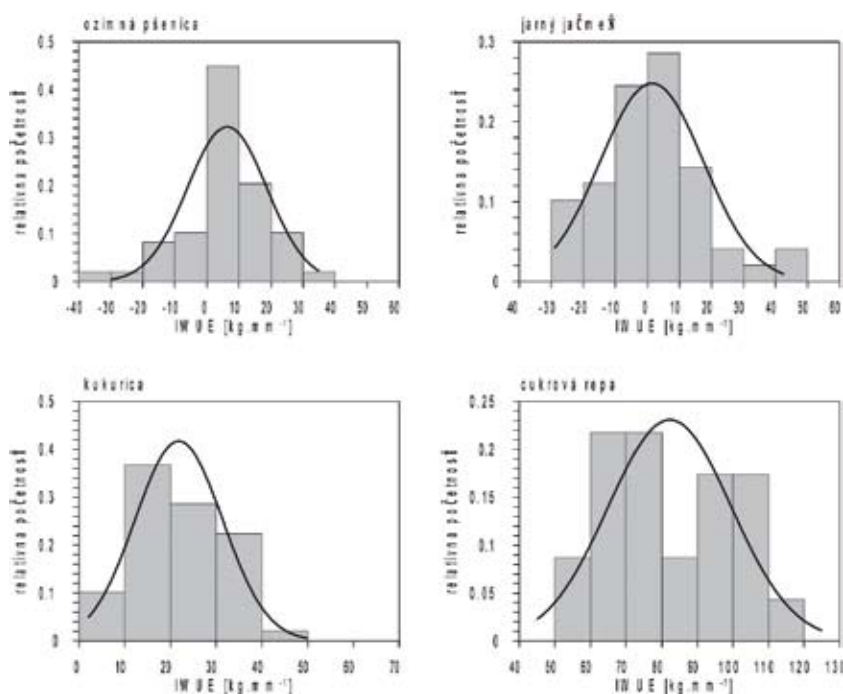


Dunajský a i. (1991) metódou regresnej analýzy hodnotili vplyv jednotlivých meteorologických prvkov na narastanie biomasy jarného jačmeňa a ozimnej pšenice, pričom dospeli k záveru, že je potrebné, aby zrážky boli rovnomerne rozdelené počas vegetácie, najviac v máji

a júni. Aj podľa výsledkov stacionárneho pokusu sa javia ako najvýznamnejšie májové a júnové zrážky a teploty s optimom na úrovni dlhodobého normálu. Nadmerné zrážky viedli k depresii hospodárskych úrod.

Najvyššie úrody ozimnej pšenice na poľnom stacionárnom pokuse boli zaznamenané v roku 1989, keď na nezavlažovaných variantoch dosiahli úrody 7,8–8,6 t.ha⁻¹. Rok 1989 sa vyznačoval teplou a veľmi suchou jarou, keď za mesiace marec a apríl spadlo len 49 mm zrážok, z toho v marci len 9 mm. V máji a júni dosiahli zrážkové úhrny 49 mm, resp. 47 mm, pričom máj bol teplotne normálny a jún studený. Najvyššie úrody jarného jačmeňa boli bez závlahy zaznamenané v roku 1994, a to 6,3–7,3 t.ha⁻¹. V tomto roku boli mesiace apríl a máj teplotne normálne, ale mimoriadne vlhké, naopak, jún bol veľmi suchý, ale teplotne normálny.

Obrázok 5 Histogramy produkčnej účinnosti využitia závlahovej vody plodinami (IWUE) (všetky varianty hnojenia)



Najmenšie hodnoty IWUE boli vypočítané pre jarný jačmeň (Tab. 2). Vlahová potreba jarného jačmeňa bola vo väčšine rokov dobre pokrytá z prirodzených zdrojov, čo potvrdzujú hodnoty relatívnej evapotranspirácie ET/ET_{max} . Medián ET/ET_{max} na nezavlažovanom jarnom jačmeni bol 92 % a v troch zo štyroch rokov bola hodnota ET/ET_{max} vyššia ako 65 %. Najvyššia IWUE jarného jačmeňa bola zaznamenaná v roku 2002, keď priemerná IWUE bola 16,4 kg.mm⁻¹ a na jednotlivých variantoch dosahovala od -5,7 kg.mm⁻¹ (variant 0) do 36,9 kg.mm⁻¹ (variant N₁P₁K₁). V tomto roku spadlo za vegetačné obdobie jačmeňa len 134 mm zrážok a závlaha bolo jarnému jačmeňu dodaných 55 mm vody.

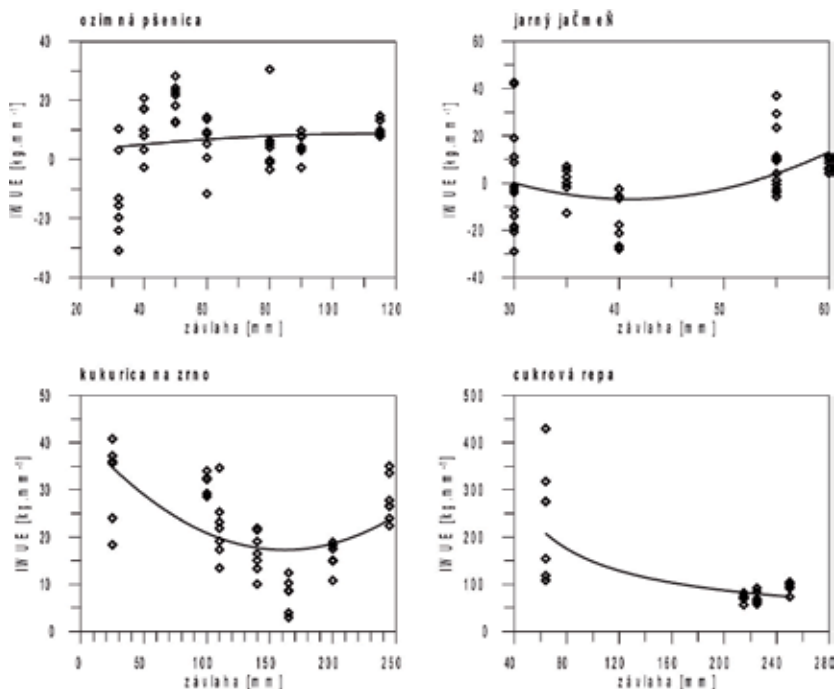
Aj vlahová potreba ozimnej pšenice bola vo väčšine rokov dobre pokrytá z prirodzených zdrojov. Medián ET/ET_{max} na nezavlažovanej ozimnej pšenici bol 77 % a v troch zo štyroch rokov bola hodnota ET/ET_{max} vyššia ako 68 %. Najvyššia $IWUE_w$ ozimnej pšenice bola zistená v roku 1984, keď na jednotlivých variantoch dosahovala od 12,4 do 28,2 $kg \cdot mm^{-1}$. V tomto roku spadlo za celé vegetačné obdobie ozimnej pšenice len 268 mm zrážok, z toho od začiatku marca do konca júna len 133 mm. Ozimnej pšenici bolo dodaných 50 mm závlahovej vody.

Najčastejšie sa hodnota $IWUE$ jarného jačmeňa a ozimnej pšenice vyskytovala v intervale 0–10 $kg \cdot mm^{-1}$ (Obr. 5). Hodnota $IWUE$ jarného jačmeňa, resp. ozimnej pšenice bola záporná v 47 % prípadov, resp. v 22 % prípadov.

Vlahová potreba kukurice bola z prirodzených zdrojov pokrytá na viac ako 70 % raz za 4 roky, každý druhý rok bola pokrytá na menej ako 60 %. Najvyššia $IWUE$ kukurice bola zistená v roku 1998, keď na jednotlivých variantoch dosahovala od 28,6 do 34 $kg \cdot mm^{-1}$. V tomto roku spadlo za vegetačné obdobie kukurice len 312 mm zrážok a závlahou bolo dodaných 100 mm vody.

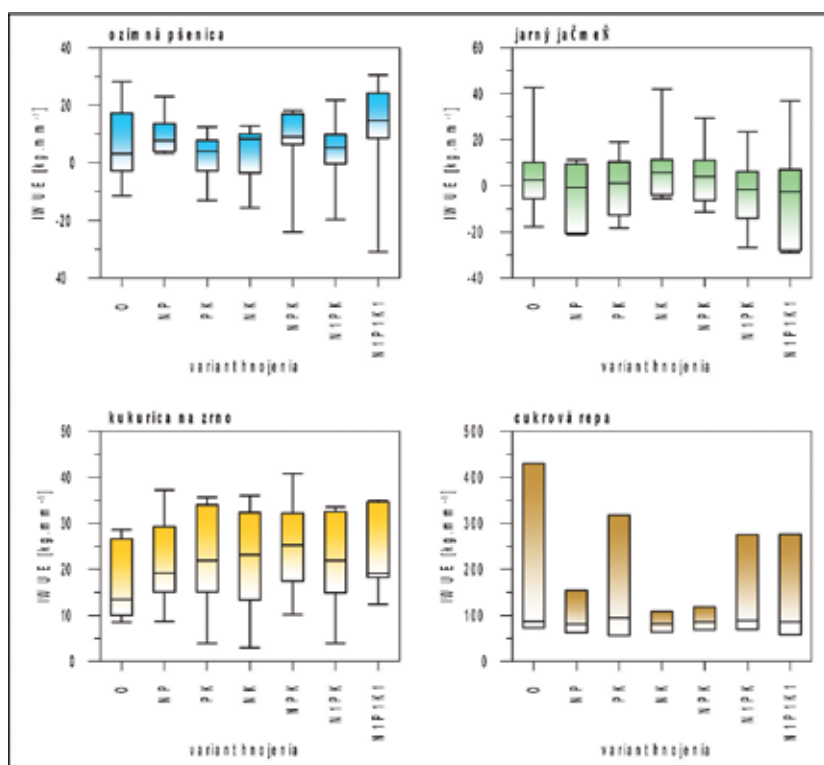
Vlahová potreba cukrovej repy bola z prirodzených zdrojov pokrytá najviac na 74 %, a to v roku 2006. V ostatných rokoch bola pokrytá len na 51–60 %. Najvyššia $IWUE$ cukrovej repy bola zistená v roku 2006 pri celkovej závlahe len 64 mm vďaka vhodnému načasovaniu závlahových dávok.

Obrázok 6 Závislosť medzi závlahou a $IWUE$ (všetky varianty hnojenia)



Ako vidieť, produkčná účinnosť využitia závlahovej vody bola najvyššia v rokoch s malým úhrnom atmosférických zrážok, pričom bolo dodané pomerne malé množstvo závlahovej vody. Na základe získaných výsledkov možno predpokladať, že hodnota IWUE nerastie úmerne k množstvu dodanej vody (Obr. 6). Veľké množstvo závlahovej vody nemusí vytvoriť väčšiu úrodu alebo optimálny ekonomický úžitok a preto treba stanoviť vhodný závlahový režim. Nadbytočná závlaha môže viesť k zníženiu úrod. (SUN A I., 2006) na základe trojročných výsledkov z poľných pokusov s ozimnou pšenicou zistili, že so zvyšujúcim sa množstvom dodanej závlahovej vody klesá účinnosť využitia vody. Podľa modelových výsledkov vodou limitovaných úrod ozimnej pšenice (TAKÁČ, 1999) v niektorých rokoch jedna závlahová dávka postačovala na porovnateľné zvýšenie úrody ako viac závlahových dávok, rozhodujúci bol termín aplikácie závlahovej dávky.

Obrázok 7 Základné štatistické charakteristiky IWUE jednotlivých plodín podľa variantov hnojenia



Efekt závlahy na úrody plodín a na IWUE závisí aj od rastovej fázy plodiny. Plodina reaguje v jednotlivých rastových fázach rozdielne na vodný stres. IWUE je teda ovplyvnená aj načasovaním závlahovej dávky a ďalšími faktormi, predovšetkým klimatickými a pôdnymi. Horúce počasie s tropickými teplotami urýchľuje dozrievanie obilnín, v dôsledku čoho sa znižuje úroda zrna. Toto môže byť jednou z príčin, keď aj plodina netрпиaca nedostatkom vody nevytvorí maximálnu úrodu. Rovnako nedostatok živín môže spôsobiť depresiu úrod. Potvrdzujú to aj

výsledky získané zo stacionárneho pokusu. Absolútne maximum IWUE ozimnej pšenice boli pozorované v roku 1981 na variante $N_1P_1K_1$ s 1,5-násobnou dávkou živín, a to $30,5 \text{ kg.mm}^{-1}$. Na druhej strane, 3 zo 7 variantov hnojenia vykazovali zápornú hodnotu IWUE. Podobne, jedna z najvyšších hodnôt IWUE jarného jačmeňa bola zaznamenaná v roku 1994 (42 kg.mm^{-1}), ale 4 varianty mali zápornú hodnotu IWUE. Štatistické charakteristiky IWUE podľa plodín a variantov hnojenia sú znázornené na obrázku 7.

ZÁVER

Na základe analýzy výsledkov možno konštatovať, že pozitívny účinok závlahy sa prejavil hlavne u plodín s vegetačným obdobím vrcholiacim v letných mesiacoch (kukurica, cukrová repa). Závlaha hustosiatych obilnín bola menej účinná, nakoľko úrody sú ovplyvnené zásobami vody v pôdnom profile zo zimného obdobia.

Produkčná účinnosť využitia závlahovej vody jednotlivými plodinami bola najvyššia v rokoch s malým úhrnom atmosférických zrážok pri nízkom množstve dodanej závlahovej vody. Najčastejšie sa hodnota produkčnej účinnosti využitia závlahovej vody jarného jačmeňa a ozimnej pšenice vyskytovala v intervale $0\text{--}10 \text{ kg.mm}^{-1}$. Hodnota bola záporná v 47 % prípadov jarného jačmeňa, resp. v 22 % prípadov ozimnej pšenice.

Zrážkové úhrny, resp. množstvo vody dodané do systému, nie je jediným rozhodujúcim faktorom determinujúcim účinnosť využitia vody plodinami. Ďalšími faktormi sú aj spôsob a termín zavlažovania, obsah živín v pôde, pôdne vlastnosti, vývoj počasia, nároky plodín na vodu a živiny a ich interakcie. Tieto budú predmetom ďalších analýz.

Literatúra

- ALLEN, R. G. - PEREIRA, L.S. - RAES, D. - SMITH, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. *FAO Irrigation and Drainage*. Paper 56, Rome: FAO, 1998.
- BIZIK, J. 1999. *Production effect of irrigation and nutrition with a special view to environment*. Scientific Papers of the Research Institute of Irrigation Bratislava. No. 24, Bratislava: VÚZH, 1999, p. 19-32 ISBN 80-85755-06-8.
- BOS, M.G. 1985. *Summary of ICID Definitions of Irrigation Efficiency*. ICID Bull. No. 34, 1985, p. 28-31.
- DUNAJSKÝ, E. - GURSKÁ, T. - NEJEDLÍK, P. 1991. *Vplyv počasia na produkciu obilnín*. Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu, Bratislava: SHMÚ, 1991, s. 59-90.
- LARCHER, W. 1988. *Fyziologická ekologie rostlin*. 1. vydanie. Praha: Academia, 1988, 368 s.
- SUN, H.Y. - LIU, C.M. - ZHANG, X.Y. - SHEN, Y.J. - ZHANG, Y.Q. 2006. *Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain*. *Agricultural Water Management* 85, 2006, p. 211-218.
- TAKÁČ, J. 1999. *Modelovanie závlahových režimov ozimnej pšenice*. In *Hydromeliorácie Slovenska na prahu 21. storočia*. Zborník referátov z vedeckej konferencie. Bratislava: VÚMKI, 1999, s. 135-140.

TVORBA TERMÍNOV SEJBY/SADENIA A ZBERU PRE POTREBY MODELOVANIE AGROEKOSYSTÉMU NA GLOBÁLNEJ ÚROVNI

THE CREATION OF PLANTING DATES AND HARVESTING DATES FOR THE NEEDS OF MODELLING AGROEKOSYSTEM ON THE GLOBAL LEVEL

Zuzana TARASOVIČOVÁ, Rastislav SKALSKÝ

*Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 821 73 Bratislava
e-mail: z.tarasovicova@vupop.sk*

Abstract

Biophysical modelling links the simulation model with geographical information about landscape. For the applications of biophysical model are important input data about landscape, which fit the best real conditions. The gaps in input data on landscape restrict the application of simulation model. The biophysical model EPIC, which is the component of our modelling system needs data on planting and harvesting dates. Available sources of data (FAO AQUASTAT, USDA, 1994) do not provide sufficiently data on planting and harvesting dates required by EPIC model. Regarding this, the object of our work was to supply missing gaps in planting and harvesting dates availability. Missing planting and harvesting dates for crops and countries were taken from the crops with similar cultivation or crops of adjacent countries. For big countries or countries with different natural conditions it is appropriate to separate the country area into smaller regions, which reflected better the real conditions. Table with planting and harvesting dates (GlobPlantDate) was created and includes data on planting and harvesting dates as median of published intervals. Cartographic visualisation of GlobPlantDate table was done via 5arcmin spatial resolution grid with global coverage. GlobPlantDate was compared with planting dates (SimPlantDate), which were taken from the publication of Stehfest (STEHFEST, E. 2005. Modelling of global crop production and resulting N₂O emissions : dissertation thesis. Germany : University in Kassel, 2005, 150 pp. Available in internet: <<https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/items-by-author?author=Stehfest%2C+Elke>>). From the aspect of spatial resolution GlobPlantDate data are more detailed. From the aspect of content, GlobPlantDate includes date planting and harvesting for the 20 globally most important crops while SimPlantDate provides information only for 4 crops. Among GlobPlantDate and SimPlantDate for wheat, rice, maize and soybean differences were observed in global pattern of planting dates, which is probably caused by different data estimation approach. For the countries of Europe the planting dates for wheat are good comparable in both datasets. In Australia, Africa and Americas there are bigger differences in reported planting dates of rice in GlobPlantDate and SimPlantDate. Especially in northern countries of Africa, Australia and USA the planting dates

for maize reported by the datasets are markedly different. Reported planting dates of soybean for countries of eastern Asia fluctuate from ends April to July.

Keywords: biophysical modelling, date of planting and harvesting, FAOSTAT, USDA, wheat, rice, maize, soybean

Abstrakt

Biofyzikálne modelovanie spája simulačný model s geografickými informáciami o krajine. Pre aplikáciu simulačného modelu sú dôležité vstupné informácie o krajine, ktoré čo najpresnejšie zachytávajú reálny stav. Medzery vo vstupných údajoch brzdia aplikáciu simulačného modelu. Biofyzikálny model EPIC, ktorý je súčasťou nášho modelovacieho systému vyžaduje pre svoju prácu údaje o termínoch sejby/sadenia a zberu. Dostupné zdroje údajov (FAO AQUASTAT, USDA, 1994) nedostatočne pokrývajú požiadavky modelu EPIC. Cieľom našej práce preto bolo vyplniť chýbajúce medzery v termínoch sejby/sadenia a zberu. Chýbajúce termíny sejby/sadenia a zberu pre plodiny a krajiny boli doplnené termínmi sejby/sadenia a zberu plodín s podobným pestovaním alebo plodinami susediacich krajín. Pre veľké krajiny a krajiny s rozdielnymi prírodnými podmienkami je vhodné pre tento účel rozdeliť krajinu na menšie regióny, ktoré lepšie zachytávajú reálny stav. Atribútová tabuľka termínov sejby/sadenia a zberu (GlobPlantDate), ktorú sme vytvorili obsahuje publikované priemerné termíny sejby/sadenia a zberu. Kartografickou vizualizáciou bola atribútová tabuľka GlobPlantDate vyhotovená pre priestorové rozlíšenie 5 oblúkových minút. GlobPlantDate boli porovnávané s termínmi sejby (SimPlantDate), ktoré boli prevzaté z publikácie STEHFEST (2005) (STEHFEST, E. 2005. Modelling of global crop production and resulting N₂O emissions : dizertačná práca. Nemecko : Univerzita Kassel, 2005, 150 s. Dostupné na internete: <<https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/items-by-author?author=Stehfest%2C+Elke>>). Z hľadiska priestorového rozlíšenia GlobPlantDate sú tieto údaje podrobnejšie. Z obsahového hľadiska GlobPlantDate zahŕňa termíny sejby/sadenia a zberu pre 20 najdôležitejších plodín v rámci sveta, kým SimPlantDate poskytuje informácie iba pre 4 plodiny. Medzi GlobPlantDate a SimPlantDate pre pšenicu, ryžu, kukuricu a sóju boli zistené rozdiely v globálnom modeli termínov sejby, ktoré sú pravdepodobne zapríčinené odlišnými prístupom. Pre krajiny Európy sú termíny sejby u pšenice porovnateľné. V prípade ryže sú veľké rozdiely medzi GlobPlantDate a SimPlantDate v Austrálii, Afrike a Amerike. Výrazne rozdiely v termínoch sejby kukurice sú najmä v severných štátoch afrického kontinentu, Austrálii a Spojených štátoch amerických. Termíny sejby sóje pre krajiny východnej Ázie sa pohybujú od konca apríla až do júla.

Kľúčové slová: biofyzikálne modelovanie, termín sejby/sadenia, FAOSTAT, USDA, pšenica, ryža, kukurica, sója

ÚVOD

Biofyzikálne modelovanie spája simulačný model s geografickými informáciami o krajine. Nie je to však priamočiara práca. Závisí od konkrétnych okolností, ktoré sú viac alebo menej potrebné ku komplexnému prístupu zhromaždiť všetky potrebné vstupné informácie o krajine a prírodných alebo ľudských zásahoch. Následne sú používané ako vhodný základ pre aplikáciu biofyzikálneho modelu a interpretáciu modelovaných výsledkov (c.f. ROSSITER, 2003).

V súčasnosti sa modelovanie zaoberá napríklad účinkom klimatickej zmeny, zvyšovaní ľudskej populácie so zameraním na potravinovú zabezpečenosť v budúcnosti. Veľký počet modelov bol rozvinutý za účelom optimalizácie technologických postupov, a tiež k preskúmaniu účinkov klimatickej variability a pôdnej hydrologie na produkciu poľnohospodárskych plodín. (STEHFEST A I., 2007).

Systém biofyzikálneho modelovania s použitím simulačného modelu DNDC (LI A I., 1992), geografických vstupov pre model a ekonomickom optimalizačnom modeli bol v Európskej únii aplikovaný pre potreby hodnotenia dopadu rôznych politických rozhodnutí pre emisie oxidov uhlíka a dusíka z poľnohospodárskych pôd (LEIP A.I., 2008).

Modelovací systém s využitím simulačného modelu Roth C (COLEMAN, JENKINSON, 1995) pre potreby bilancie vývoja zásob pôdneho organického uhlíka v historickom období a jeho predpovedanie do budúcnosti prezentuje na príklade vybraných regiónov Spojených štátov amerických, Brazílie, Kene a Indie, EASTER A I. (2007).

STEHFEST (2005) sa vo svojej práci zaoberá problematikou globálnych emisií oxidov dusíka (N_2O) vo vzťahu k poľnohospodárskej produkcii. Prezentuje modelovací systém s aplikáciou simulačného modelu DAYCENT (DEL GROSSO A I., 2000; PARTON A I., 2001).

Simulačný model EPIC (WILLIAMS, 1995; IZARRAULDE, 2006) bol aplikovaný v rámci územia spolkovéj krajiny Bádén-Wurtenberg, Nemecko (BALKOVIČ A I., 2006) a v rámci Európskej únie (SCHMID A I., 2007) na geografické údaje (BALKOVIČ A I., 2007) pri simulácii rôznych ukazovateľov agroekosystému (produkcia biomasy poľnohospodárskych plodín, zásoby organického uhlíka v pôde, emisie oxidov uhlíka a dusíka), ktoré boli uvažované v rôznych podmienkach využívania krajiny (konvenčná orba, minimálna orba a pod.).

LIU A I. (2007a, 2007b) prezentujú vo svojich prácach na príklade sveta a Číny modelovací systém, ktorý využíva model EPIC (WILLIAMS, 1995; IZARRAULDE, 2006) a geografické údaje s celosvetovým alebo národným pokrytím. Modelovací systém je zameraný na bilanciu spotreby vody pre dosiahnutie určitej úrody pšenice. Vytvára podklad pre globálne hodnotenie manažmentu spotreby vody v poľnohospodárstve a optimalizuje priestorové rozloženie plôch pšenice pri zabezpečení dostatku vody pre optimálnu úrodu pšenice.

PRIYA, SHIBASAKI (2001), TAN, SHIBASAKI (2003) využívajú ako súčasť modelovacieho systému model EPIC (WILLIAMS, 1995; IZARRAULDE, 2006) a národné (India) a globálne geografické údaje k odhadu úrod plodín pod vplyvom globálnych účinkov.

Súčasťou nášho systému modelovania je simulačný model EPIC, ktorý k simulácií procesov prebiehajúcich v systéme pôda-plodina-atmosféra-manažérsky systém vyžaduje denné

časové kroky a modeluje stovky rokov. Medzery v jednotlivých oblastiach (pôda, technologické postupy, parametre plodín) často brzdia aplikáciu detailnej simulácie.

Termín sejby/sadenia a zberu jedným z dôležitých vstupných údajov o plodine pre oblasť technologických postupov spolu s ďalšími vstupmi o počasí, pôde a topografii modelu EPIC. Spolu s dĺžkou vegetačnej doby a klimatickými, stanovištnými podmienkami sa značnou mierou podieľajú na produkcii poľnohospodárskych plodín.

Dostupné globálne zdroje údajov ((FAO AQUASTAT, USDA, 1994) so zameraním na termíny sejby/sadenia a zberu sú nedostatočné z hľadiska pokrytia všetkých krajín a plodín sveta pre potreby modelovania agroekosystému. STEHFEST (2005) uvádza ďalšie nedostatky týchto údajov: (i) dátum sejby sa vo veľkých krajinách líši v jednotlivých regiónoch a (ii) mení sa s klimatickou zmenou.

STEHFEST A. I. (2007) rozvinuli schému výpočtu globálnych termínov sejby/sadenia pre 30 minútový grid vychádzajúc z priemernej mesačnej klíme. Pre určenie termínu sejby všetkých plodín okrem pšenice použila algoritmus zjednodušeného modelovania úrod. Úrody modelovala pre 12 potenciálnych mesiacov sejby (SimPlantDate).

Cieľom našej práce bolo vyplniť chýbajúce medzery v oblasti termínov sejby/sadenia a zberu pre najdôležitejšie plodiny sveta.

Tento príspevok je zameraný na opis dostupným údajovým zdrojom v oblasti globálnych termínov sejby/sadenia a zberu a tvorbu databázy globálnych termínov sejby/sadenia a zberu. Vytvorené globálne termíny sejby/sadenia a zberu sú porovnané so simulovanými termínmi sejby pre pšenicu, ryžu, kukuricu a sóju.

MATERIÁL A METÓDY

Zdroje údajov pre oblasť termínov sejby/sadenia a zberu

Model globálnej distribúcie plodín odzrkadľuje krajinnú pokrývku a využitie krajiny na úrovni ornej pôdy. Obsahuje zberové, fyzické plochy (ha) a produkciu (t/ha) pre 20 najdôležitejších plodín sveta (pšenica, ryža, kukurica, jačmeň, proso, cirok, zemiaky, sladké zemiaky a jamy, kasava, banány, sója, ostatné strukoviny, cukrová trstina, cukrová repa, káva, bavlna, ostatné priadne rastliny, podzemnica, ostatné olejiny a iné plodiny) v 4 produkčných systémoch (vysoká úroveň vstupov so závlahou a bez závlahy, nízka úroveň vstupov bez závlah a samozásobenie) v priestorovom rozlíšení 5 oblúkových minút. (YOU A I., 2006 – viac informácií).

Zdroje údajov použité pri tvorbe globálnych termínov sejby/sadenia a zberu pozostávali z FAO AQUASTAT-u (FAO AQUASTAT), USDA publikácie (USDA, 1994), MARS dokumentov (KUCERA, 2004a, 2004b a 2004c), zberových kalendárov pre cukrovú repu (FAO, 1959a), cukrovú trstinu (FAO, 1959b) a kávu (FAO, 1959c), kalendárov sejby a zberu pre ryžu (IRRI), pšenicu ozimnú a jarnú (RUSSEL, WILSON, 1994) a jačmen jesenný, ozimný a jarný (RUSSELL, 1990), zemiaky (MACKERRON, 1992; CIP(a)) a sladké zemiaky (CIP (b)).

FAO AQUASTAT obsahuje termíny sejby/sadenia a zberu pre rozvojové krajiny tropických a subtropických regiónov s určením začiatku a konca dekády mesiaca sejby alebo sadenia a zberu vybraných plodín.

Publikácia USDA (1994) obsahuje klimatické kalendáre a termíny sejby/sadenia a zberu pre kľúčové produkčné regióny a krajiny sveta. Pre každú z krajín, ktorá je zahrnutá v tejto publikácii sú vyšpecifikované zóny pestovania hlavných plodín s informáciami o priemerných historických pestovateľských plochách (ha), úrodach (t/ha) a produkcii (t). Publikácia zahŕňa nasledovné skupiny plodín a zastúpenie v nich: obilniny (pšenica ozimná a jarná, jačmeň ozimný a jarný, ryža, kukurica, proso, cirok), olejniný (slnečnica, repka, sója, podzemnica) a technické plodiny (bavlna, káva, cukrová repa a trstina).

MARS dokumenty (KUČERA, GENOVESE, 2004a, 2004b a 2004c) obsahujú termíny sejby/sadenia a zberu spolu s agrotechnickými opatreniami, striedaním plodín a ďalšie informácie pre vybrané plodiny 11 krajín Európy (Bulgarsko, Česká republika, Estónsko, Lotyšsko, Litva, Maďarsko, Poľsko, Rumunsko, Slovensko, Slovinsko, Turecko). V publikácii Narciso a i. (1992) sú zahrnuté termíny sejby/sadenia a zberu pšenice, jačmeňa, ryže, cukrovej repy, slnečnice, sóje, repky, zemiakov, bavlny a olív pre Taliansko, Španielsko a Grécko. Zoznam ostatných národných kalendárov s termínmi sejby/sadenia a zberu, ktoré boli použité pri tvorbe globálneho kalendára uvádza SKALSKÝ A I. (2008).

Publikácie (FAO, 1959a, 1959b a 1959c) obsahujú agrotechnické termíny zberu cukrovej repy, cukrovej trstiny a kávy pre vybrané krajiny sveta. Termíny sejby a zberu (rozpätia mesiacov) ryže sú dostupné na internete (IRRI). Kalendár termínov sejby a zberu pšenice ozimnej a jarnej pre Albánsko, Bulharsko, Českú republiku, Fínsko, Maďarsko, Nórsko, Poľsko, Rumunsko, Slovensko, Švédsko, Švajčiarsko, Rakúsko a bývalé krajiny Juhoslávie je v publikácii RUSSELL, WILSON (1994). Jačmeň jesenný, ozimný a jarný s termínmi sejby a zberu pre Belgicko, Dánsko, Francúzsko, Nemecko, Grécko, Írsko, Taliansko, Luxembursko, Holansko, Portugalsko, Španielsko a Veľkú Britániu sú uvedené v publikácii RUSSELL (1990).

Publikácia o zemiakoch (MACKERRON, 1992) obsahuje agrotechnické termíny sadenia a zberu (dekáda a mesiac) pre Nemecko, Francúzsko, Taliansko, Holansko, Belgicko, Veľkú Britániu, Írsko, Dánsko, Grécko, Španielsko a Portugalsko. International Potato Centre (ďalej iba CIP) uverejňuje na svojej webovej stránke termíny sadenia spolu s ďalším informáciami o pestovaní zemiakov v krajinách Afriky, južnej sa strednej Ameriky a Euroázie (CIP (a)) a sladkých zemiakoch pestovaných v Afrike a Ázii (CIP (b)).

Tvorba termínov sejby/sadenia a zberu poľnohospodárskych plodín

Databáza FAOQUASTAT predstavuje základný zdroj údajov pre tvorbu globálnych termínov sejby/sadenia a zberu. Táto databáza bola následne doplnená zdrojmi údajov ako publikácia USDA, MARS dokumenty, národnými a plodinovými kalendármi s termínmi sejby/sadenia a zberu. Takto doplnená databáza FAOQUASTAT bola následne porovnaná s podielmi plodín v krajinách podľa modelu globálnej distribúcie plodín. Chýbajúce termíny sejby/sadenia a zberu pre plodiny a krajiny boli doplnené termínmi sejby/sadenia a zberu plodín s podobným pestovaním (Tab. 1) alebo plodinami susediacich krajín.

Tabuľka 1 Pravidlá pre doplnenie chýbajúcich nedostatkov pri termínoch sejby/sadenia a zberu poľnohospodárskych plodín (IFA, 1992; JURÁSEK, 1997, 1998)

Náhradná plodina	Plodiny
kukurica	cirok, proso, slnečnica
fazuľa	hrach a iné strukoviny
sója	podzemnica
juta	podzemnica
slnečnica	saflór, kukurica

Pre veľké krajiny sveta a krajiny s rozdielnymi prírodnými podmienkami je vhodné použiť termíny sejby/sadenia a zberu, ktoré čo najlepšie rešpektujú regionálne zvláštnosti týchto krajín. Pre tento účel boli rozdelené iba niektoré veľké krajiny sveta na administratívne regióny prvého stupňa (Austrália, Kanada) alebo administratívne regióny prvého stupňa boli zlúčené do väčších celkov ako v prípade Brazílie, Číny a Ruskej Federácie. Termíny sejby/sadenia a zberu sú v uvedených krajinách špecifikované na administratívne regióny ako to uvádza tabuľka 2.

Tabuľka 2 Administratívne regióny alebo väčšie celky krajín pre účely termínov sejby/sadenia a zberu

Krajina	Administratívne regióny
Austrália	Nový Južný Wales
Austrália	Severné Teritórium
Austrália	Queensland
Austrália	Južná Austrália
Austrália	Viktória
Austrália	Západná Austrália
Brazília	Centrálno-južná časť
Brazília	Severná časť
Brazília	Severo-východná časť
Brazília	Južná časť
Kanada	Kanadské Prérie
Kanada	Ontáριο a Quebec
Čína	Centrálna časť
Čína	Severná časť
Čína	Južná časť
Ruská Federácia	Centrálna časť
Ruská Federácia	Sibír
Ruská Federácia	Južná časť
Ruská Federácia	Ural

Termíny sejby/sadenia a zberu

Výsledná tabuľka termínov začiatku a konca sejby/sadenia a zberu (dekáda a mesiac), ktorú sme zostavili z uvedených dostupných zdrojov údajov bola použitá pre výpočet priemerného termínu sejby/sadenia a zberu poľnohospodárskych plodín. K záverečnej korekcii termínov zberu u niektorých plodín poslužilo porovnanie vypočítanej dĺžky vegetačnej doby (rozdiel medzi termínov zberu a sejbou/sadením) s publikovanými údajmi o dĺžkach vegetačnej doby IFA (1992) a JURÁŠEK (1997, 1998).

Atribútova tabuľka termínov sejby/sadenia a zberu (ďalej iba GlobPlantDate) obsahuje tieto atribúty: číselný kód krajiny, číselnú identifikáciu administratívneho regiónu, skrátený kód plodiny, agrotechnickú operáciu, pestovateľský rok, poradový deň agrotechnickej operácie v roku (od 1. 1. do 31. 12., nezahŕňa 29. 2.) a dátum agrotechnickej operácie (1. 1. 2001 – 31. 12. 2005).

Ako rámec pre priestorovú reprezentáciu bol použitý priestorový element s rozlíšením 5 x 5 oblúkových minút identifikovaný číselným kódom krajiny, administratívnym regiónom a skráteným kódom plodiny. Atribútoovým prepojením GlobPlantDate a modelu globálnej distribúcie plodín pomocou spoločných atribútov boli termíny sejby/sadenia a zberu viazané na priestorový element s rozlíšením 5 oblúkových minút. Termíny sejby/sadenia sa vzťahujú iba na tie priestorové elementy, v ktorých bola výmera plodiny zastúpená viac ako 5 % z celkovej výmery priestorového elementu.

GlobPlantDate boli porovnávané s termínmi sejby (SimPlantDate), ktoré sme prevzali z publikácie STEHFEST (2005). Pri hodnotení údajov boli použité dve hľadiska, t.j. kartografická vizualizácia a obsahová stránka údajov. Z kartografického hľadiska bol porovnávaný použitý priestorový rámec GlobPlantDate a SimPlantDate. Z obsahového hľadiska boli hodnotené prístupy tvorby údajov a pokrytie plodinami.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

VYHODNOTENIE ÚDAJOVÝCH VSTUPOV

Z hľadiska kartografickej vizualizácie sú údaje GlobPlantDate organizované v priestorových elementoch s rozlíšením 5 oblúkových minút, kým údaje SimPlantDate v priestorových elementoch s rozlíšením 30 minút. GlobPlantDate tak poskytuje v porovnaní so SimPlantDate podrobnejšie informácie a tým dôkladnejšie reprezentuje využitie krajiny.

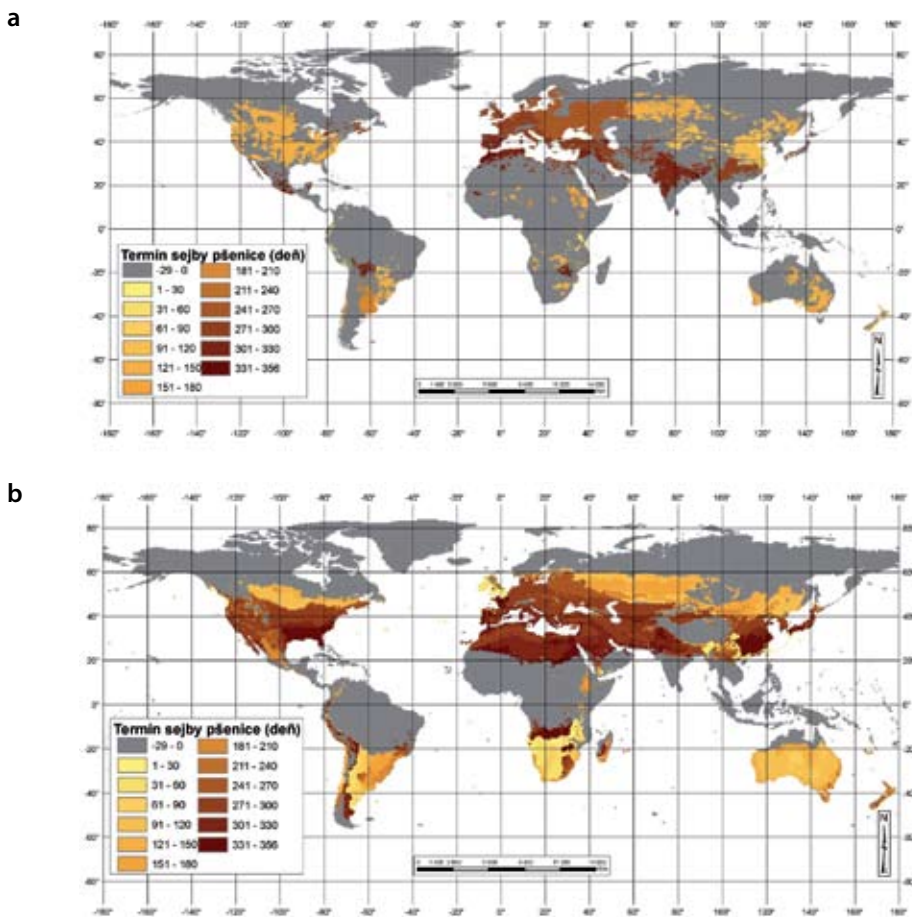
Z obsahového hľadiska GlobPlantDate zahŕňa termíny sejby/sadenia a zberu pre 20 najdôležitejších plodín sveta (pšenica, ryža, kukurica, jačmeň, proso, cirok, zemiaky, sladké zemiaky a jámy, kasava, banány, sója, ostatné strukoviny, cukrová trstina, cukrová repa, káva, bavlna, ostatné priadne rastliny, podzemnica, ostatné olejninu a iné plodiny). SimPlantDate obsahuje informácie o termínoch sejby pre sóju a 3 najdôležitejšie obilniny sveta, t.j. pšenica, ryža, kukurica. Údaje GlobPlantDate sú striktné viazané na danú krajinu a plodiny v nej pestované, kým údaje SimPlantDate sú viazané ku klimatickým pomerom daného priestorového elementu. Z tohto vyplýva, že GlobPlantDate poskytuje exaktnejšie informácie v oblasti termínov sejby a sadenia pre plodiny, ktoré vychádzajú z reálnych pozorovaní.

Porovnanie termínov sejby GlobPlantDate a SimPlantDate – ukážky

Rozdiely v termínoch sejby pšenice sú znázornené na obr. 1 a, b. GlobPlantDate uvádza ako najvhodnejší termín pre seju v Spojených štátoch amerických medzi 121. až 150. dňom roku. Podľa SimPlantDate sú termíny oneskorené v severnej časti Spojených štátov amerických o 155 dní a na juhu tejto krajiny o 215 dní. Pri porovnaní GlobPlantDate a SimPlantDate v Európe sú spozorované iba minimálne rozdiely v termínoch sejby pšenice.

STEHFEST A I. (2007) uvádza na príklade Juhoafrickej republiky, že algoritmus pre výpočet SimPlantDate vybral nevhodný termín sejby pšenice, vzhľadom k tomu že tento termín spadol do obdobia bez závlah (august až október). GlobPlantDate stanovuje za vhodný termín sejby ozimnej pšenice pre Juhoafrickú republiku na koniec apríla, čo predstavuje reálny stav.

Obrázok 1 Termín sejby pšenice (a) GlobPlantDate, (b) SimPlantDate (STEHFEST, 2005)



Obrázok 2 a, b vykresľuje najvhodnejšie GlobPlantDate a SimPlantDate pre ryžu v jednotlivých častiach sveta. Pre väčšinu územia Indie je GlobPlantDate a SimPlantDate porovnateľný. Väčšie rozdiely v termínoch sejby možno vidieť v Austrálii a ostatných krajinách sveta,

kde SimPlantDate rozdeľuje tieto krajiny do viacerých oblastí s rozdielnymi termínmi, ktoré sa pohybujú v priebehu celého roka.

GlobPlantDate kukurice (obr. 3 a) rozdeľuje Brazíliu do dvoch veľkých častí. V centrálno-južnej a južnej časti je termín sejby od 301. do 330. dňa roku. V severnej a severo-východnej časti je interval od 91. do 120. dňa. Pre niektoré severné štáty afrického kontinentu je podľa GlobPlantDate vhodné siať kukuricu v mesiacoch február až apríl, kým SimPlantDate má pre tieto oblasti vypočítané termíny od začiatku do konca roka.

Pre sóju a oblasti sveta, v ktorých sa táto plodina pestuje sú termíny sejby znázornené na obr. 4 a, b. V krajinách východnej Ázie GlobPlantDate uvádza ako vhodné začať sejbu sóje od konca apríla (Čína, Thajsko, Laos) cez máj (Kórejská ľudovo-demokratická republika, Kórejská republika) až do júla (Vietnam). Pre krajiny Európy (Taliansko, Švajčiarsko, Francúzsko) je interval pre sejbu 121. až 150. deň.

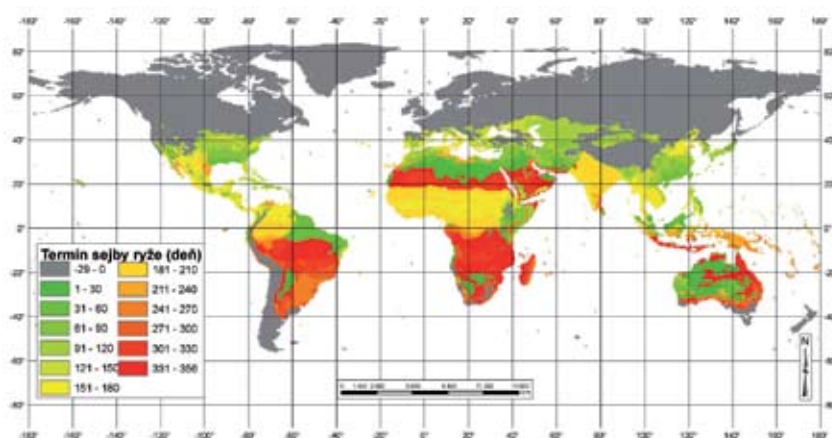
Aj v prípade ostatných plodín, ktoré sú porovnávané, t.j. ryža, kukurica, sója mohlo dôjsť ku chybným výpočtom SimPlantDate a to najmä v marginálnych oblastiach. Chyby môžu byť spôsobené aj nadmorskou výškou (STEFEST A I., 2007).

Obrázok 2 Termín sejby ryže (a) GlobPlantDate, (b) SimPlantDate (STEFEST, 2005)

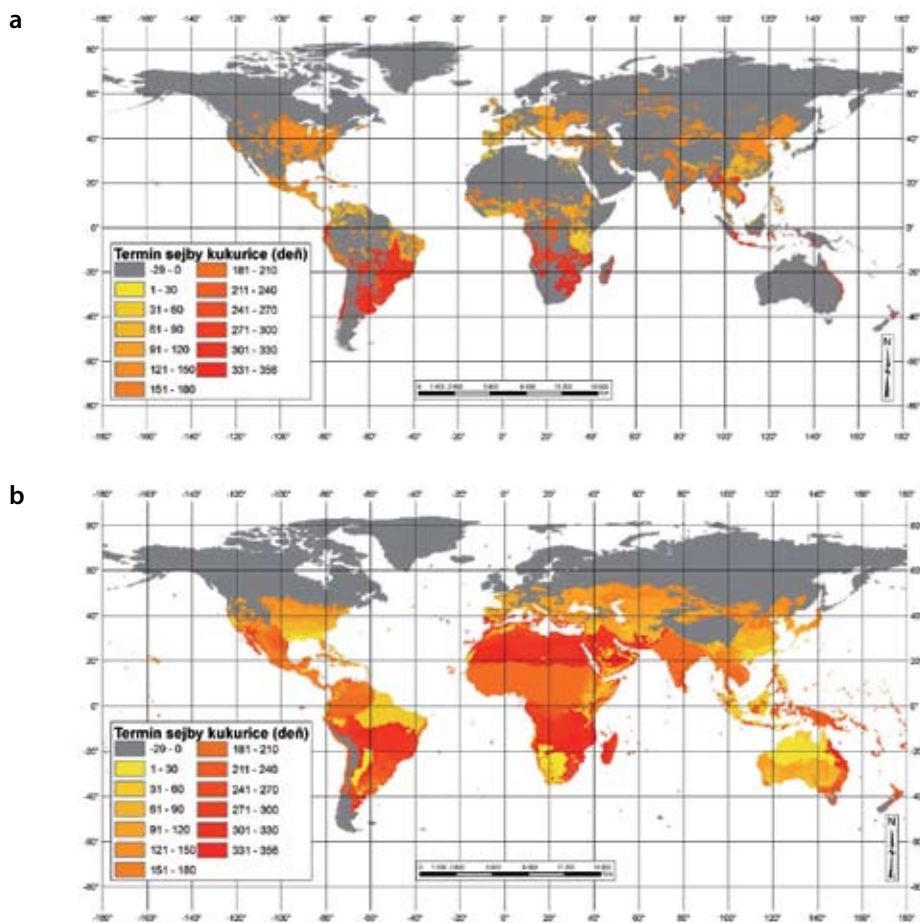
a



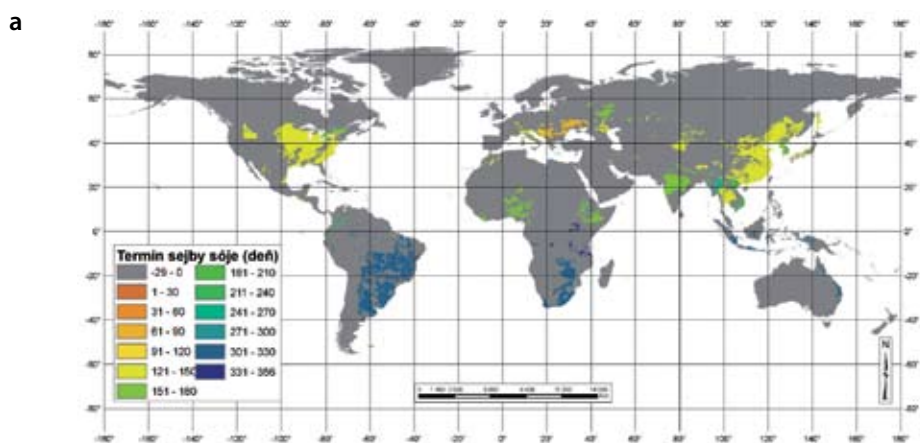
b



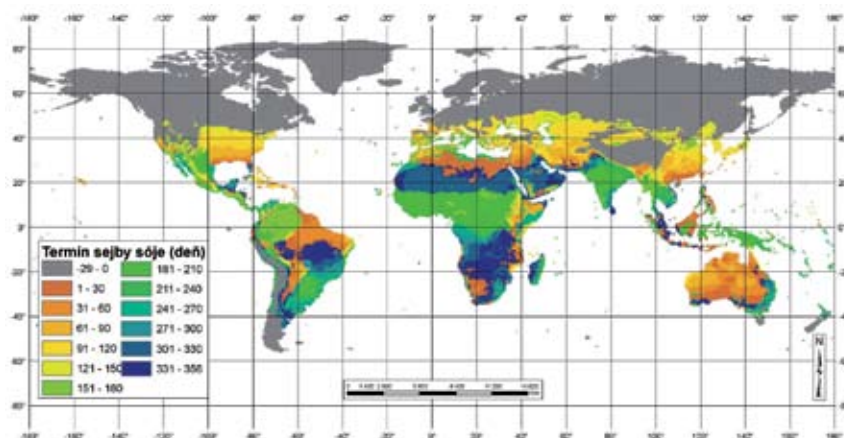
Obrázok 3 Termín sejby kukurice (a) GlobPlantDate, (b) SimPlantDate (STEFEST, 2005)



Obrázok 4 Termín sejby sóje (a) GlobPlantDate, (b) SimPlantDate (STEFEST, 2005)



b



ZÁVER

Vzhľadom na to, že dostupné zdroje údajov v oblasti termínov sejby/sadenia a zberu sú fragmentálne a nedostatočne pokrývajú svet bola podľa požiadaviek modelu EPIC vytvorená atribútová tabuľka GlobPlantDate. GlobPlantDate obsahuje zozbierané a doplnené termíny sejby/sadenia a zberu pre 20 najdôležitejších plodín sveta. Termíny sejby/sadenia a zberu pre jednotlivé plodiny sa vzťahujú ku konkrétnej krajine prípadne sú špecifikované na administratívny región prvého stupňa (Austrália, Kanada) alebo na zlúčené administratívne regióny prvého stupňa (Čína, Brazília, Ruská Federácia).

Pri konfrontácii GlobPlantDate a SimPlantDate boli zistené rozdiely. Z hľadiska kartografickej vizualizácie sú GlobPlantDate špecifikované pre priestorový element s rozlíšením 5 oblúkových minút, čím sú tieto údaje v porovnaní s SimPlantDate podrobnejšie. Z hľadiska obsahu GlobPlantDate zahŕňa termíny sejby/sadenia a zberu pre 20 najdôležitejších plodín pestovaných v rámci sveta a tieto údaje sú viazané na priestorové elementy s rozlíšením 5 oblúkových minút konkrétnej krajiny. SimPlantDate obsahuje termíny sejby iba pre 4 plodiny a tie sú na základe algoritmu vypočítané z klimatických pomerov pre priestorové rozlíšenie 30 oblúkových minút.

Medzi GlobPlantDate a SimPlantDate pre pšenicu, ryžu, kukuricu a sóju sú v rámci sveta väčšie alebo menšie rozdiely, čo je spôsobené rozdielnym prístupom k riešeniu danej problematiky. Pri pšenici sú GlobPlantDate a SimPlantDate pre krajiny Európy porovnateľné s veľmi malými odchýlkami. Väčšie rozdiely sú v Spojených štátoch amerických. V prípade ryže sú veľké rozdiely medzi GlobPlantDate a SimPlantDate v Austrálii, Afrike a južnej Amerike. GlobPlantDate kukurice sa výrazne líši od SimPlantDate najmä v severných štátoch afrického kontinentu, Austrálii a Spojených štátoch amerických. V Brazílii je vhodným termínom na sejbu kukurice október až november (centrálno-južná časť a južná časť) a rovnako aj marec až apríl pre severnú a severo-východnú oblasť. Termíny sejby sóje (GlobPlantDate) pre krajiny

východnej Ázie sa pohybujú od konca apríla až do júla. Pre Európu je vhodným termínom apríl až máj.

GlobPlantDate predstavuje vhodný zdroj údajov v oblasti termínov sejby/sadenia a zberu pre potreby modelovania rôznych aspektov agroekosystému, vzhľadom k tomu že vychádza z reálnych pozorovaní krajiny. Avšak do budúcnosti by bolo potrebné tento problém naďalej riešiť v spojení s prístupom využitým pri tvorbe termínov sejby v SimPlantDate.

LITERATÚRA

- BALKOVIČ, J. - SCHMID, E. - BUJNOVSKÝ, R. - SKALSKÝ, R. - POLTÁRSKA, K. 2006. Biophysical modelling for evaluating soil carbon sequestration potentials on arable land in the pilot area Baden-Württemberg (Germany). *Agriculture*, Vol. 52, 2006, No. 4, p. 169–176.
- BALKOVIČ, J. - SCHMID, E. - MOLTCHANOVA, E. - SKALSKÝ, R. - POLTÁRSKA, K. - MÜLLER, B. - BUJNOVSKÝ, R. 2007. Data processing. In Stolbovov, V. - Montanarella, L. - Panagos, P. (Eds.) *Carbon Sing Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification*. JRC Scientific and Technical Reports. (EUR 23037 EN), Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community, 2007, p. 74–139 ISBN 978-92-79-07691-6.
- CIP(a) 2008. DG International Potato Center [online]. 2008, [cit. 2008-09-05]. Dostupné na internete: <<http://research.cip.cgiar.org/confluence/display/wpa/Home>>.
- CIP(b) 2008. DG International Potato Center [online]. 2008, [cit. 2008-09-05]. Dostupné na internete: <<http://research.cip.cgiar.org/confluence/display/wsa/Home>>.
- COLEMAN, K. - JENKINSON, D.S. 2005. RothC-26.3. A Model for the Turnover of Carbon in Soil: Model Description and Users Guide [online]. Rothamsted: IACR, 2005, 46 p. ISBN 09-51445669 [2008-06-03]. Dostupné na internete: <http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26_3_win.pdf>.
- DEL GROSSO, S.J. - PARTON, W.J. - MOSIER, A.R. - OJIMA, D.S. - KULMALA, A.E. - PHONGPAN, S. 2000. General model for N₂O and N₂ gas emissions from soils due to denitrification. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 14, 2000, No. 4, p. 1045–1060.
- EASTER, M. - PAUSTIAN, K. - KILLIAN, K. - WILLIAMS, S. - FENG, T. - AL-ADAMAT, R. - BATJES, N. H. - BERNOUX, M. - BHATTACHARYYA, T. - CERRI, C.C. - CERRI, C.E.P. - COLEMAN, K. - FALLOON, P. - FELLER, C. - GICHERU, P. - KAMONI, P. - MILNE, E. - PAL, D.K. - POWLSON, D.S. - RAWAJFIH, Z. - SESSAY, M. - WOKABI, S. 2007. The GEFSOC soil carbon modelling system: A tool for conducting regional-scale soil carbon inventories and assessing the impacts of land use change on soil carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, DOI: 10.1016/j.agee. 2007.01.004, 13 p.
- FAO, 1959a. World crop harvest calendar for sugar beets. Meeting of Experts of Time Reference (7–18 December). FAO, Roma, 1959, 6 p.
- FAO, 1959b. World crop harvest calendar for sugar cane. Meeting of Experts of Time Reference (7–18 December). FAO, Roma, 1959, 7 p.
- FAO, 1959c. World crop harvest calendar for coffee. Meeting of Experts of Time Reference (7–18 December). FAO, Roma, 1959, 7 p.
- FAO AQUASTAT 2007. DG Food and Agriculture Organization of United Nations [online]. 2007 [cit. 2008-09-05]. Dostupné na internete: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm>.
- IFA, 1992. World Fertilizer Use Manual. Germany, 1992, 632 p. ISBN 2-9506299-0-3.
- IRRI [on-line] DG International Rice Research Institute, december 2007, [cit. 2008-09-05]. Dostupné na internete: <<http://www.irri.org/science/ricestat/index.asp>>.
- IZAURRALDE, R.C. - WILLIAMS J.R. - MCGILL, W.B. - ROSENBERG, N.J. - QUIROGA-JAKAS, M.C. - 2006. Simulating soil C dynamics with EPIC: model description and testing against long-term data. *Ecological Modelling*, Vol. 192, 2006, p. 362-384.
- JURÁŠEK, P. 1997. Svetové poľnohospodárstvo. 1. diel. Bratislava: AT Publishing, 1997, 263 s. ISBN 80-967812-0-0.
- Jurášek, P. 1998. Svetové poľnohospodárstvo. 2. diel. Bratislava: AT Publishing, 1998, 387 s. ISBN 80-967812-9-4.
- KUČERA, L., A. I. 2004a. Crop Monographies on Central European countries vol. 2 - Estonia, Latvia, Lithuania, Poland. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004, 122 p. ISBN 92-894-8177-3 [cit. 2008-09-05]. Dostupné na internete: <<http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop%5FYield%5FForecasting/MOCA/00000000.HTM>>.
- KUČERA, L., A. I. 2004b. Crop Monographies on Central European countries vol. 3 - Czech republic, Slovakia, Hungaria, Slovenia. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004, počet strán + ISBN [cit. 2008-09-05]. Dostupné na internete: <<http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop%5FYield%5FForecasting/MOCA/00000000.HTM>>.
- KUČERA, L., A. I. 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, [cit. 2008-09-05]. Dostupné na internete: <<http://agrifish.jrc.it/marsstat/Crop%5FYield%5FForecasting/MOCA/00000000.HTM>>.
- LEIP, A. - MARCHI, G. - KOEBLE, R. - KEMPEN, M. - BRITZ, W. - LI, C. 2008. Linking an economic model for European agriculture with a mechanistic model to estimate nitrogen and carbon losses from arable soils in Europe. *Biogeosciences*, Vol. 5, 2008, No. 1, p. 73–94.
- LI, C. - FROLKING, S.M., - FROLKING, T.A. 1992. Model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model

- structure and sensitivity. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97, 1992, No D 9, p. 9759–9776.
- 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. *Agricultural Systems*, Vol. 94, 2007, No. 2, p. 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. *Irrigation Science*, DOI: 10.1007/s00271-007-0069-9, 13 p.
- MACKERRON, D.K.L. 1992. *Agrometeorological Aspects of Forecasting Yields of Potato within the E. C. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*, 1992, 250 p. ISBN 92-826-3538-4.
- NARCISO, G. - RAGNI, P. - VENTURI, A. 1992. *Agro-meteorological aspects of crops in Italy, Spain and Greece: A summary review for common and durum wheat, barley, maize, rice, sugar beet, sunflower, soya bean, rape, potato, tobacco, cotton, olive and grape crops. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*, 1992, 440 p. ISBN 92-826-3995-6.
- PARTON, W. J. - HOLLAND, E.A. - DEL GROSSO, S.J. - HARTMAN, M.D. - MARTIN, R.E. - MOSIER, A.R. - OJI-MA, D.S. - SCHIMEL, D.S. 2001. Generalized model for NO_x and N₂O emissions from soils. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, Vol. 106, 2001, No. D15, p. 17403-17419.
- PRIYA, S. - SHIBASAKI, R. 2001. National spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model. *Ecological Modelling*, Vol. 139, 2001, No. 2–3, p. 113–129.
- ROSSITER, D.G. 2003. Biophysical models in land evaluation. In *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* [online]. 2003, 16 p. Dostupné na internete: <www.itc.nl/~rossiter/Docs/EOLSS_1527_Preprint.pdf>
- RUSSELL, G. 1990. *Barley Knowledge Base. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*, 1990, 142 p. ISBN 92-826-1647-9.
- RUSSELL, G. - WILSON, G.W. 1994. *An Agro-Pedo-Climatological Knowledge-Base of Wheat in Europe. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities*, 1994, 160 p. CL-NA-15789-EN-C.
- SCHMID, E. - BALKOVIĆ, J. - SKALSKÝ, R. 2007. Biophysical impact assessment of crop land management strategies in EU25 using EPIC. In *Stolbovoy, V. - Montanarella, L. - Panagos, P. (Eds.). Carbon Sing Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification. JRC Scientific and Technical Reports. (EUR 23037 EN), Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community*, 2007, p. 160-183 ISBN 978-92-79-07691-6.
- SKALSKÝ, R. - TARASOVIČOVÁ, Z. - BALKOVIĆ, J. - SCHMID, E. - FUCHS, M. - MOLTCHANOVA, E. - KINDERMANN, G. - SCHOLTZ, P. 2008. *Geo-bene global database for bio-physical modeling v. 1.0. Concepts, methodologies and data. Technical report. Luxembourg: IIASA*, 2008, 57 p.
- STEHFEST, E. 2005. *Modelling of global crop distribution and resulting N₂O emissions. Dissertation thesis [online]. Germany: Kassel University*, 2005, 150 p. Dostupné na internete: <<https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/items-by-author?author=Stehfest%2C+Elke>>
- STEHFEST, E. - HEISTERMAN, M. - PRIESS, J.A. - OBJIMA, D.S. - ALCAMO, J. 2007. Simulation of global crop production with the ecoszstem model DayCent. *Ecological Modelling*, Vol. 209, 2007, No. 2-4, p. 203-219.
- TAN, G. - SHIBASAKI, R. 2003. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS nad EPIC integration. *Ecological Modelling*, Vol. 168, 2003, No. 3, p. 357-370.
- USDA, 1994. *Major World Crop Areas and Climatic Profiles. World Agricultural Outlook Board, U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 664., 1994, 279 p.*
- WILLIAMS, J.R. 1995. *The EPIC Model. In Computer Models of Watershed Hydrology (Ed. V.P. Singh). Colorado: Water Resources Publications, Highlands Ranch*, 1995, p. 909-1000.
- YOU, L. - WOOD, S. 2006. An entropy approach to spatial disaggregation of agricultural production. *Agricultural Systems*, Vol. 90, 2006, No. 1-3, p. 329-347.
-

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy č. 30

© 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: 182

Náklad: 150 ks

ISBN 978-80-89128-51-8

Texty neprešli jazykovou úpravou.