

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy

2017

39

Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy

2017

39

Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy č. 39

Editor: doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.

Recenzenti: prof. Ing. Bohdan Juráni, CSc.

RNDr. Martin Saksa, PhD.

doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.

© Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum –

Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava, 2017

ISBN 978-80-8163-022-4 (tlačená verzia)

ISBN 978-80-8163-023-1 (online verzia vo formáte PDF)

Obsah

	PREDSLOV	
Rastislav Dodok, Dalibor Kusý	MONITORING VODNÉHO REŽIMU POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD V OBLASTI VODNÉHO DIELA GABČÍKOVO	7
Lukáš Karlík, Igor Matečný, Vladimír Falťan, Marián Gábor, Martin Saksa	MAPOVANIE OBSAHU ÍLU V PÔDE POUŽITÍM DIGITÁLNEJ ANALÝZY RELIÉFU A ŠTATISTICKÉHO MODELOVANIA	20
Jozef Kobza, Boris Pálka	PRÍSPEVOK K TMAVÝM PÔDAM NA SLOVENSKU PODĽA KRITÉRIÍ INBS	34
Eva Pekárová, Michal Sviček, Pavol Bezák	VHODNOSŤ PÔDNO-KLIMATICKÝCH PODMIENOK PRE PESTOVANIE BORIEVKY OBYČAJNEJ (<i>JUNIPERUS COMMUNIS</i> L. A JEJ PRIESTOROVÁ DIFERENCIÁCIA V RÁMCI POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD SLOVENSKA	43
Martin Saksa, Emil Fulajtár	POROVNANIE MORFOGENETICKÉHO KLASIFIKAČNÉHO SYSTÉMU PÔD SLOVENSKA (2014) A SVETOVEJ REFERENČNEJ BÁZY PRE PÔDNE ZDROJE (2015)	53
Jaroslava Sobocká	POROVNANIE KLASIFIKÁCIE ANTROPOGÉNNÝCH PÔD V MKSP 2014 A WRB 2015 VO VÄZBE NA ZDOKONALENIE SYSTÉMU	74
Rastislav Skalský, Pavel Pavlenda, Gabriela Barančíková, Štefan Koco, Ivan Barka, Zuzana Tarasovičová, Jarmila Makovníková	ODHAD ZÁSOBY ORGANICKÉHO UHLÍKA V POVRCHOVEJ VRSTVE PÔD SLOVENSKA	87
Miloš Širáň, Jarmila Makovníková	VPLYV VYBRANÝCH PÔDNYCH PARAMETROV NA REGULAČNÚ AGROEKOSYSTÉMOVÚ SLUŽBU – AKUMULÁCIU VODY V PÔDE	95
Jozef Takáč, Pavol Bezák, Blanka Ilavská	ZHODNOTENIE ZMIEN KLIMATICKÝCH INDIKÁTOROV V OBDOBÍ 1961 – 1990 A 1991 – 2016 PRE POTREBY AKTUALIZÁCIE AGROKLIMATICKÝCH REGIÓNOV	104
Jozef Takáč, Rastislav Skalský, Rastislav Dodok, Dalibor Kusý	BILANCIA VYUŽITELNEJ VODY V PÔDE V REGIÓNE PODUNAJSKEJ NÍŽINY V OBDOBÍ 1961 – 2015	126
Jozef Varga, Radoslava Kanianska	VPLYV ERÓZIE PÔDY NA VYBRANÉ PÔDNE FYZIKÁLNE CHARAKTERISTIKY	142

PREDSLOV

Pre Vami je 39. vydanie Vedeckých prác NPPC – VÚPOP, ktoré je pokračovaním editorskej činnosti VÚPOP. Ambíciou tohto každoročne vydávaného časopisu je prezentovať a publikovať vedecké a odborné práce ústavu a spriaznených pracovísk. Toto vydanie boli zostavené z príspevkov riešiacich viaceré národné i medzinárodné projekty a ktorých témou je predovšetkým udržateľné hospodárenie na pôde.

Udržateľné hospodárenie na pôde je prostriedkom pre udržanie alebo zvýšenie produkčnej schopnosti pôd založenom na produkčných a súčasne environmentálnych princípoch. Hlavným cieľom je posilniť hospodársky a sociálny blahobyt v mestách i na vidieku, poskytovať a udržať ekosystémové služby a posilniť adaptačné možnosti pre zvládnutie globálnych problémov (zmena klímy, biodiverzita, úbytok pôdnej organickej hmoty, a. i.). Udržateľné využívanie ekologických funkcií pôdy je spravidla v konflikte s využívaním sociálno-ekonomických funkcií, pričom miera tejto konfrontácie je na vidieku spravidla nižšia v porovnaní s urbanizovanými a priemyselnými oblasťami. Slovenské poľnohospodárstvo je integrálnou súčasťou európskej a svetovej ekonomiky, v ktorej prebiehajú rozsiahle štrukturálne zmeny. Výkyvy počasia, ktoré sa spájajú s klimatickými zmenami, negatívne vplyvajú hospodárenie na pôde. Očakáva sa, že zavedením inovatívnych a hlavne udržateľných prístupov budú výrobné systémy v poľnohospodárstve a lesníctve úspešné nielen v kvalite a kvantite produktov, ale budú zabezpečovať služby vedúce k zlepšeniu ekosystémových služieb i kvality života na vidieku. V tomto smere sú aj orientované príspevky VP 39. Zahrňujú problematiku klimatickej zmeny vo svetle novej agroklimateckej regionalizácie, agroekosystémové služby, zásoby organického uhlíka v pôde, zásoby vodných zdrojov a ich monitoring, problémy erózie, vhodnosti pedoklimatických charakteristík pre pestovanie plodín. Niektoré príspevky majú väzbu na svetový referenčný systém pôd WRB, či iniciatívu Globálneho partnerstva o pôde FAO.

Pedológovia majú v zmysle uvedených iniciatív, ktoré sa týkajú predovšetkým Agendy 2030 schválenej v septembri 2015 v sídle Organizácie Spojených národov, za cieľ zaoberať sa ochranou najkvalitnejšej poľnohospodárskej pôdy pred zábermi, ochranou vlastností a funkcií pôdy pred degradáciou prostredníctvom udržateľného využívania potenciálu na základe objektívnych, presných a aktuálnych informácií.

Príspevky v tomto čísle prešli recenziami oponentov a následnými úpravami. Vystihujú súčasnú úroveň pedológie na Slovensku. Prajem Vám príjemné poznatkové čítanie.

Doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.
editor VP 39

MONITORING VODNÉHO REŽIMU POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD V OBLASTI VODNÉHO DIEĽA GABČÍKOVO

MONITORING OF THE SOIL WATER REGIME IN THE AREA OF GABČÍKOVO WATERWORKS

Rastislav Dodok, Dalibor Kusý

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy,
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e-mail: r.dodok@vupop.sk*

ABSTRAKT

V rámci monitoringu prírodného prostredia v oblasti vplyvu Vodného diela Gabčíkovo monitorujeme aj vodný režim poľnohospodárskych pôd. Na vybudovanej sieti monitorovacích stanovišť meriame vlhkosť pôdy v pôdnom profile a hĺbku hladiny podzemnej vody. Zaznamenávame zmeny pôdných vlastností po uvedení vodného diela do prevádzky a porovnávame ich s východiskovým stavom. Z výsledkov meraní vyplývajú zmeny v hladine podzemnej vody a následne aj zmeny vo vlhkosťnom profile pôd predovšetkým v hornej časti Žitného Ostrova.

Kľúčové slová: vodný režim pôdy, vlhkosť pôdy, hladina podzemnej vody, monitoring

ABSTRACT

The monitoring of natural environment in the area of influence of the Gabčíkovo Water Plant also water regime of agricultural soils is monitoring. On a built network of monitoring sites, we measure soil moisture in the soil profile and the depth of ground water level. We record changes in soil properties after commissioning the Water plant and compare them from baseline. The measurements result in changes in the groundwater level and consequently changes in the soil moisture profile, especially in the upper part of Žitný ostrov.

Keywords: soil water regime, soil moisture, ground water level, monitoring

ÚVOD

Monitorovanie vlhkosťného režimu pôd v oblasti Žitného Ostrova je súčasťou monitoringu poľnohospodárskych pôd územia dotknutého výstavbou a prevádzkou vodného diela Gabčíkovo. Jeho cieľom je identifikácia možných zmien pôdných vlastností a pôdných procesov a hodnotenie ich vplyvu na kvalitu poľnohospodárskej pôdy. Monitoring prebieha už od roku 1989, čiže zaznamenáva jednak východiskový stav pôdných vlastností za posledné

štyri roky pred uvedením vodného diela do prevádzky v roku 1992 a ich vývoj za 25 rokov prevádzky vodného diela.

MATERIÁL A METÓDY

Monitoring poľnohospodárskych pôd sa uskutočňuje na vybudovanej sieti stacionárnych monitorovacích plôch (Mp). Táto sieť zahŕňa 12 stanovišť bežne obhospodarovanej ornej pôdy, ktoré slúžia na odber pôdnych vzoriek a vzoriek podzemnej vody, na meranie vlhkosti pôdy, hĺbky hladiny podzemnej vody, jej elektrickej vodivosti a teploty. Blízke okolie týchto plôch slúži na zber úrod pestovaných plodín. Pôdne profily monitorovacích plôch sú podrobne opísané, chemicky a fyzikálne analyzované v syntetických záverečných správach (FULAJTÁR 1998, 2002).

Jednotlivé monitorovacie plochy resp. ich hydrogeologické sondy sú situačne a výškovo zamerané, doplnené o základné technické údaje najmä o hĺbku štrkov a perforáciu hydrogeologických sond.

Z hľadiska klasifikácie pôd sa na jednotlivých monitorovaných stanovištiach nachádzajú nasledujúce pôdne typy (MKSP 2000):

- Mp 1 Fluvizem kultizemná karbonátová
- Mp 2 Fluvizem kultizemná karbonátová
- Mp 3 Fluvizem kultizemná karbonátová
- Mp 4 Černozem kultizemná čiernicová karbonátová
- Mp 5 Černozem kultizemná čiernicová karbonátová
- Mp 6 Čiernica kultizemná karbonátová
- Mp 9 Čiernica kultizemná karbonátová hlboko slabo slancová
- Mp 10 Čiernica kultizemná karbonátová prekrytá
- Mp 12 Čiernica kultizemná karbonátová
- Mp 14 Čiernica kultizemná černozemná karbonátová hlboko slabo slancová
- Mp 16 Čiernica kultizemná černozemná karbonátová slancová
- Mp 18 Čiernica kultizemná černozemná karbonátová, slabo slanisková, slancová

Každá stacionárna monitorovacia plocha obsahuje vlhkosťnú a viacúčelovú hydrogeologickú sondu, ktoré slúžia na meranie vlhkosti pôdy a hladiny podzemnej vody. Výber a lokalizácia monitorovacích plôch je situovaná tak, aby zachytávali a charakterizovali možné vplyvy jednotlivých stavieb vodného diela na monitorované územie.

Monitorovacie plochy Mp 1 až Mp 3 slúžia na získavanie údajov z oblasti vplyvu zdrže Hrušov. Líšia sa najmä hĺbkou rozhrania povrchových jemnozrnných a podložných štrkových a štrkopieskových sedimentov. Na stanovišti Mp 1 je toto rozhranie v hĺbke 2 m, pričom podzemná voda kolíše v hĺbkach 2,5–3,5 m. Na stanovišti Mp 2 je štrkové rozhranie v hĺbke 3,4 m a podzemná voda v hĺbke 3,6–5,0 m. Na stanovišti Mp 3 sú štrkopiesky už v hĺbke 0,9 m a podzemná voda je v hĺbke 3,8–5,2 m. Z uvedeného vyplýva, že na týchto stanovištiach podzemná voda nezasahuje a kapilárne nenapája jemnozrnné povrchové sedimenty.

Monitorovacie plochy Mp 4 až Mp 9 slúžia na zber údajov z oblasti priľahlej k prírodnému kanálu. Rozhranie povrchových jemnozrnných a podložných štrkových pieskových sedimentov je na stanovišti:

Mp 4 v hĺbke	1,5 m	a podzemná voda kolíše v hĺbke	2,4 – 4,2 m
Mp 5 v hĺbke	2,7 m	a podzemná voda kolíše v hĺbke	2,1 – 3,5 m
Mp 6 v hĺbke	2,0 m	a podzemná voda kolíše v hĺbke	1,5 – 3,0 m
Mp 9 v hĺbke	2,4 m	a podzemná voda kolíše v hĺbke	0,5 – 2,4 m

Z uvedených údajov vidieť, že podzemná voda na stanovišti Mp 4 nezasahuje do jemnozrnných povrchových sedimentov, na stanovištiach Mp 5 a Mp 6 do nich zasahuje len v určitých časových úsekoch a na stanovišti Mp 9 je podzemná voda v jemnozrnných sedimentoch trvalo prítomná.

Monitorovacia plocha Mp 10 monitoruje vplyv odpadového kanála. Vyznačuje sa podložíom so stredným až hrubým pieskom v hĺbke 2 m a veľkým rozptylom hladiny podzemnej vody (0,4 – 5,1 m), ktorá občas zasahuje do jemnozrnnnej povrchovej vrstvy pôdy.

Monitorovacie plochy Mp 12 a Mp 14 monitorujú územie pod Sapom s ochrannými tesniacimi stenami. Štrkové rozhranie je na oboch lokalitách hlboko, Mp 12 – 4 m a Mp 14 – 3 m, pričom podzemná voda tu kolíše v hĺbkach 0,1 – 2,7 m a je stále prítomná v jemnozrnných povrchových sedimentoch.

Monitorovacie plochy Mp 16 a Mp 18 slúžia na zber údajov z dolného Žitného ostrova ako územia s kumulatívnym účinkom hydrologických zmien celého regiónu Žitného ostrova. Obe lokality sú charakteristické pomerne vysokou hladinou podzemnej vody, ktorá kolíše v rozmedzí 0,1 – 2,5 m, a štrkovým podložíom v hĺbkach pod 2,5 m. Podzemná voda je preto stále prítomná v jemnozrnných povrchových horizontoch.

Monitorovanie vlhkosti a vodného režimu pôd na tejto sieti 12 stacionárnych monitorovacích stanovišť zahŕňa meranie vlhkosti pôdy v jej vertikálnom profile a meranie výšky hladiny podzemnej vody. Ako podporné údaje získavame klimatické údaje, zrážky a teplotu z meteorologických staníc Bratislava-letisko a Hurbanovo.

Vlhkosť pôdy meriame neutrónovou sondou DIDCOT na uvedenom súbore 12 stanovišť v pôdnom profile od povrchu pôdy po 10 cm vrstvách až po hladinu podzemnej vody. Meranie vlhkosti pôdy prebieha v štrnásťdňových intervaloch a v zimných mesiacoch november – marec raz mesačne. Ročne je to 21 cyklov meraní. Namerané hodnoty vlhkosti pôdy sú vyjadrené v objemových percentách. Hĺbka hladiny podzemnej vŕd sa meria hladinomerom G10 súčasne s meraním vlhkosti pôdy.

Vlastný vodný režim pôd vyjadruje priestorové a časové rozvrstvenie vlhkosti pôdy v nenasýtenej zóne pôdneho krytu spolu s časovým priebehom hĺbky hladiny podzemnej vody. Vlhkosť pôdy a jej časové a priestorové rozvrstvenie vyjadrujeme farebne formou chronoizopleť obsahu pôdnej vody v 5 % intervaloch.

Zásoby pôdnej vody vyjadrujú časový priebeh zásob pôdnej vody v povrchovej, 1 m hrubej vrstve pôdy, členenej na vrchnú – orničnú (0,0 – 0,3 m) a spodnú – podložnú (0,3 – 1,0 m) vrstvu. Súčasťou grafického zobrazenia dynamiky zásob pôdnej vody je priebeh zrážok a základné hydrolimity: bod vädnutia (BV), bod zníženej prístupnosti (BZP), poľná kapacita (PK) a plné

nasýtenie (PN). Zásoby pôdnej vody v jednotlivých vrstvách pôdy ako aj výška jednotlivých hydrolimitov sú vyjadrené v mm vody vypočítané z objemovej vlhkosti.

Kvalitatívnu a kvantitatívnu stránku vodného režimu hodnotíme ekologickou klasifikáciou vlhkosti pôdy, ktorá člení celý rozsah obsahu vody v pôde na 6 vlhkosných intervalov, ktoré výstižne charakterizujú stav vlhkosti pôdy z energetického i z agronomického hľadiska, resp. z hľadiska požiadaviek rastlín na dostatok a prístupnosť pôdnej vody. Jednotlivé vlhkosné intervaly charakterizujú vlhkosný stav pôdy nasledovne:

- *Mokrý – akvatický stav* – pôda je plne nasýtená vodou, všetky pôdne póry sú vyplnené vodou, obsah vody v pôde sa rovná objemu celkovej pórovitosti. Tento vlhkosný stav označujeme symbolom Θ_{PN} (plné nasýtenie).
- *Vlhký - uvidický interval* – je ohraničený plným nasýtením pôdy a poľnou vodnou kapacitou ($\Theta_{PN} - \Theta_{PK}$). Charakterizuje vlhkosný stav pôdy, v ktorom sú všetky kapilárne a časť nekapilárnych (gravitačných) pórov vyplnené vodou. Pôda v tomto vlhkosnom stave je spravidla málo prevzdušnená až zamokrená – prevzdušnenosť pôdy je často nižšia ako 10, resp. 5.
- *Mierne vlhký – semiuvidický interval* – je ohraničený hydrolimitmi: poľná vodná kapacita a bod zníženej prístupnosti ($\Theta_{PK} - \Theta_{BZP}$). Z agronomického i z ekologického hľadiska je to optimálny vlhkosný interval. Zabezpečuje pre rastliny dostatok ľahko prístupnej vody, dostatočné prevzdušnenie pôdy a tým aj vyhovujúce oxidačno-redukčné podmienky v pôdnom profile.
- *Mierne suchý - semiaridný interval* – je ohraničený bodom zníženej prístupnosti a bodom trvalého vädnutia rastlín ($\Theta_{BZP} - \Theta_{BV}$). Charakterizuje stav vlhkosti pôdy, pri ktorej je pôdna voda málo pohyblivá a jej využiteľnosť pre rastliny je podstatne znížená. Pre rastliny je v tomto intervale prístupná len tá časť pôdnej vody, ktorá je v priamej blízkosti koreňov rastlín.
- *Suchý – aridný interval* – je ohraničený bodom vädnutia a číslom hydroskopicity ($\Theta_{BV} - \Theta_{VH}$), charakterizuje vlhkosť pôdy, pri ktorej sú rastliny nedostatočne zásobené pôdnou vodou a vädnú. Voda, ktorá je v tomto intervale prítomná, je na pôdu viazaná väčšou silou ako je priemerná sacia sila koreňov, preto je pre rastliny ťažko prístupná až neprístupná.
- *Extrémne suchý – hyperaridný interval* – vlhkosť pôdy je v tomto intervale nižšia ako číslo hydroskopicity.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky monitoringu ukazujú, že vodný režim pôd monitorovaného územia je okrem zrážok ovplyvňovaný hladinou podzemnej vody, jej kolísaním v priebehu roka a jej kontaktom s jemnozrnnými povrchovými sedimentami, ktoré umožňujú jej vzlianie do pôdneho profilu. Z tohto hľadiska rozlišujeme na danom území pôdy s vodným režimom bez vplyvu podzemnej vody, pôdy s nepravidelným a stálym vplyvom.

Celkový vývoj hladín podzemnej vody na monitorovaných stanovištiach za dvadsaťpäť rokov prevádzky vodného diela má v oblasti zdrže Hrušov (Mp 1 – 3) zreteľne klesajúcu tendenciu. Priemerná hladina podzemnej vody tu klesla:

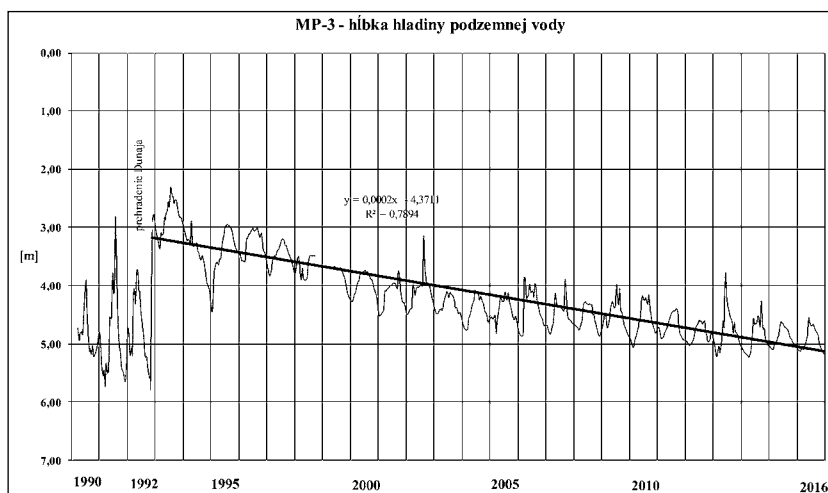
na stanovišti Mp 1 o 0,7 m a v súčasnosti je v hĺbke cca 3,0 m,

na stanovišti Mp 2 o 1,8 m a v súčasnosti je v hĺbke cca 4,6 m,

na stanovišti Mp 3 o 2,1 m a v súčasnosti je v hĺbke cca 4,9 m.

Uvedené súčasné hladiny podzemných vôd na stanovištiach Mp 1 a Mp 2 sú ešte stále vyššie ako pred realizáciou vodného diela, no na stanovišti Mp 3 sa už hladina podzemnej vody dostala na pôvodnú úroveň (Obr. 1).

Obrázok 1 Vývoj hladiny podzemnej vody v rokoch 1990–2016 na stanovišti Mp 3



Zreteľný pokles hladiny podzemnej vody, cca 0,8 m, sledujeme aj v hornej časti prívodného kanála na lokalite Mp 4. Na ostatných lokalitách v oblasti prívodného kanála sledujeme menej výrazný pokles hladiny podzemnej vody – na lokalite Mp 5 o 0,3 m, na lokalite Mp 6 o 0,4 m a na lokalite Mp 9 o 0,3 m. Na lokalite Mp 10 v oblasti odpadového kanála sledujeme napriek veľkej kolísavosti priebehu hladiny podzemnej vody jej celkový pokles o cca 1,2 m. Tento pokles hladiny podzemnej vody, predovšetkým v oblasti zdrže Hrušov, je spôsobený pravdepodobne kolmatáciou, čiže zanášaním dna zdrže jemnými sedimentami, ktoré vytvárajú nepriepustnú bariéru medzi dnom zdrže a zvodnenou vrstvou v jej okolí.

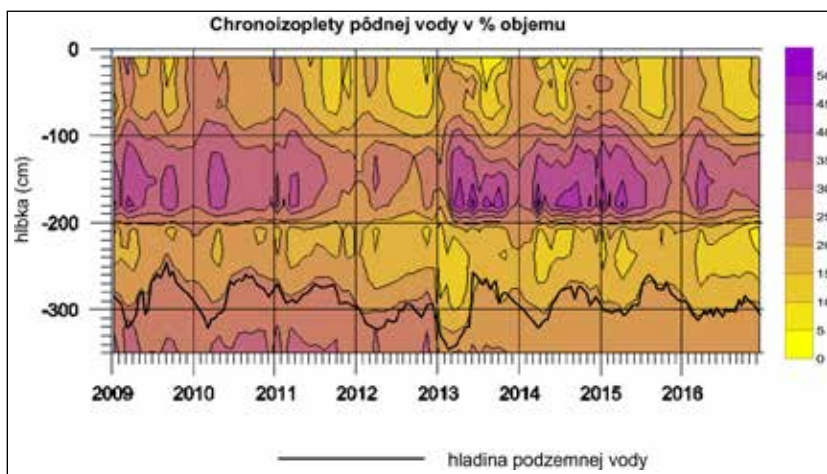
Na ostatných monitorovaných stanovištiach nesledujeme signifikantné trendy v zmene hladiny podzemnej vody.

Pôdy s vodným režimom bez vplyvu podzemnej vody, vývojovo označované ako automorfné, sú charakteristické hlbokou hladinou podzemnej vody, ktorá sa vyskytuje často v kapilárne neaktívnych štrkových a pieskových sedimentoch, ktoré neumožňujú jej vzlianie vyššie do pôdneho profilu. Ich vodný režim je preto závislý len od zrážok, prípadne od závlah. Na monitorovanom území sa tieto pôdy nachádzajú v oblasti zdrže Hrušov a v hornej časti územia prívodného kanála. Vzhľadom na súčasné hladiny podzemnej vody sem zaraďujeme pôdy monitorovaných plôch Mp 1, 2, 3 a 4.

Vodný režim týchto pôd po uvedení vodného diela do prevádzky ostal nezmenený. Určitá pozitívna zmena prebehla na lokalite Mp 1, kde po realizácii vodného diela podzemná voda vystúpila z hĺbky cca 5,8 m a v súčasnosti sa nachádza v hĺbke cca 3 m. Tým sa vlhkosť pôdnej vrstvy v hĺbke 1 až 2 m zvýšila v priemere o 5 % na súčasných 30–40 % (Obr. 2).

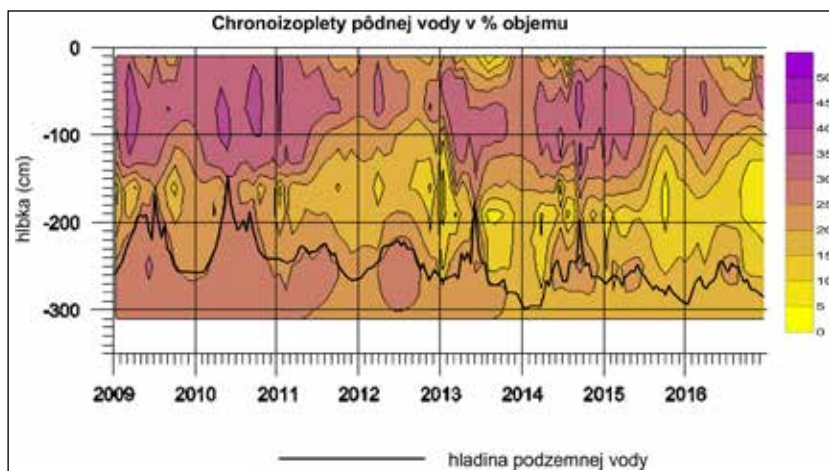
Zmeny vlhkosti pôdy, ktoré tu prebiehajú pod vplyvom klimatických pomerov, najmä zrážok, zasahujú do hĺbky 1–2 m. Vodný režim týchto pôd je charakteristický tým, že vlhkosť povrchovej vrstvy (0–0,3 m) sa vo vlhších obdobiach nachádza v semiuvidickom intervale, v letných suchých mesiacoch klesá do semiaridného až aridného intervalu. Vlhosť podpovrchovej vrstvy (0,3–1,0 m) je takmer stále v semiuvidickom intervale, len vo výrazne suchých obdobiach klesá zväčša krátkodobo do semiaridného a vo výrazne vlhkých obdobiach stúpa do uvidického intervalu. Hlbšie v profile je vlhkosť trvalo nízka (10–20 %) v pôdach s piesočnatými podložnými sedimentami a pomerne vysoká (nad 35 %) v pôdach s aluviálnymi zaílenými podložnými sedimentami.

Obrázok 2 Vodný režim pôdy na stanovišti Mp 1 v rokoch 2009–2016



Pôdy s vodným režimom s nepravidelným vplyvom podzemnej vody, označované aj ako semihydromorfne pôdy, majú podzemnú vodu na rozhraní štrkových a jemnozrnných povrchových sedimentov. V nepravidelných obdobiach podzemná voda vystupuje do jemnozrnných sedimentov a vzliánim až do pôdneho profilu. S ohľadom na súčasné hladiny podzemnej vody zaraďujeme do tejto skupiny pôdy monitorovaných plôch Mp 5 a 6 (Obr. 3).

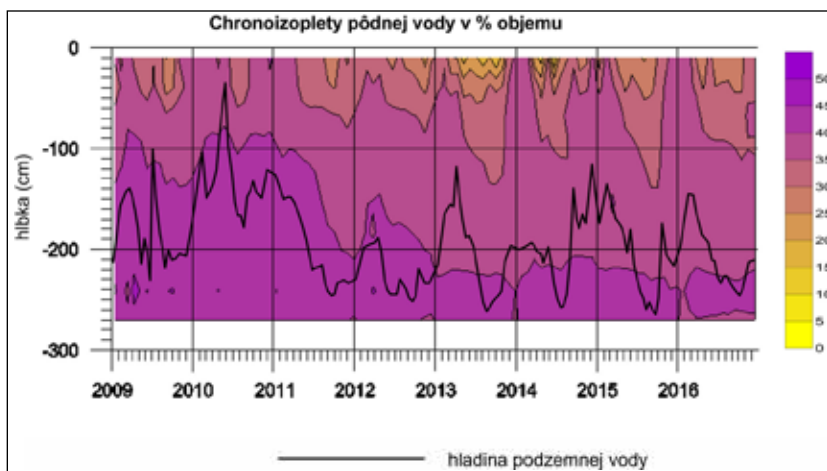
Obrázok 3 Vodný režim pôdy na stanovišti Mp 6 v rokoch 2009–2016



Táto skupina pôd sa nachádza v hornej časti monitorovaného územia v oblasti prívodného kanála. V porovnaní s predchádzajúcou skupinou majú vyššie hladiny podzemnej vody, nad ktorou sa vytvárajú pomerne súvislé vrstvy s pomerne vysokou vlhkosťou pôdy 35–40 % na lokalite Mp 5 v zrnitostne ťažších ílovitohlinitých materiáloch a na lokalite Mp 6 s vlhkosťou 20–30 % v zrnitostne ľahších hlinítopiesočnatých materiáloch. Výraznejšie dynamické zmeny vlhkosti pôdy zasahujú len povrchovú, približne 1 m hrubú vrstvu pôdy, v ktorej v závislosti od zrážok a teploty vlhkosť kolíše od aridného po uvidický interval.

Vo vrchnej, 0,3 m hrubej vrstve pôdy v suchých a teplých obdobiach vlhkosť klesá do semiaridného intervalu, v ostatnom čase sa nachádza prevažne v semiuvidickom a na lokalite Mp 6 často až v uvidickom intervale. V podložnej vrstve 0,3–1,0 m sa vlhkosť pôdy takmer stále udržuje v semiuvidickom až uvidickom intervale.

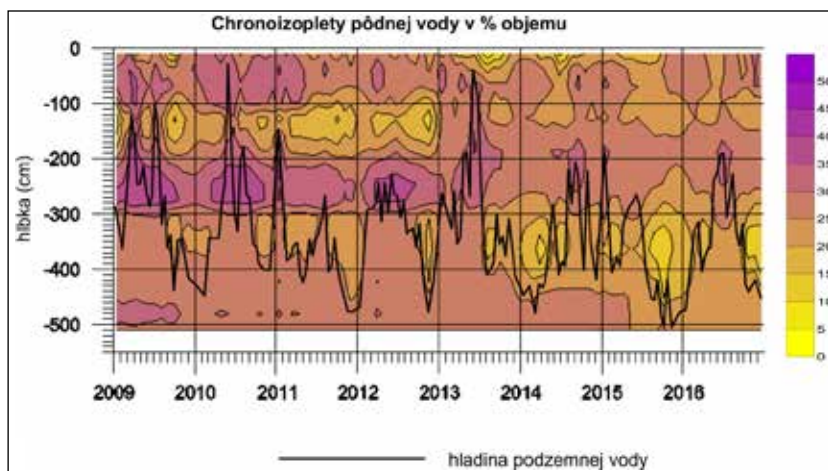
Pôdy s vodným režimom so stálym vplyvom podzemnej vody, označované aj ako hydromorfné pôdy, majú podzemnú vodu trvale v jemnozrnných povrchových sedimentoch, čo umožňuje jej vzlianie vysoko do pôdneho profilu. Hladina podzemnej vody je v týchto pôdach pomerne vysoko (1–2,5 m) a pôda nad jej úrovňou sa nasycuje na uvidický interval. Do tejto skupiny pôd zaradujeme pôdy monitorovaných plôch Mp 9, 12, 14, 16, 18 (Obr. 4).

Obrázok 4 Vodný režim pôdy na stanovišti Mp 14 v rokoch 2009–2016

Vodný režim týchto pôd sa vyznačuje tým, že vlhkosť vrchnej vrstvy pôdy je prevažne v semiuidickom intervale a v suchých letných mesiacoch často klesá do semiaridného intervalu. Spodná vrstva (0,3–1,0 m) pôdy je mierne zvlhčovaná, vlhkosť sa tu dlhodobo nachádza nad poľnou vodnou kapacitou (PK), čiže v uvidickom intervale. To znamená, že časť nekapilárnych pórov je vyplnená vodou, čo znižuje jej prevzdušenie a priepustnosť pre vodu.

Špecifický vodný režim majú pôdy v oblasti odpadového kanála, kde hladina podzemnej vody je závislá od hladiny vody v odpadovom kanáli. To sa prejavuje jej častým a veľkým kolísaním. Vodný režim týchto pôd vyjadruje obrázok 5. Z obrázku vidieť, že v hĺbke 2,0–2,7 m je prítomná súvislá vrstva pôdneho profilu s vysokou vlhkosťou (nad 30 %). Nad touto vrstvou je v hĺbke 1–2 m súvislá, pomerne suchá vrstva s vlhkosťou 5–20%, ktorá je krátkodobo preuškovaná výstupom podzemnej vody a súčasným zvýšením vlhkosti nad 30–35 %. Príčinou nízkej vlhkosti tejto vrstvy je jej veľmi ľahké piesočnaté zrnitostné zloženie obsahujúce až 96 % piesku. V čase, keď podzemná voda klesne pod túto piesočnatú vrstvu, jej vlhkosť rýchlo klesá z uvidického intervalu do aridného. Vlhosť povrchovej vrstvy pôdneho profilu (0–0,3 m) sa pohybuje v semiuidickom až semiaridnom intervale. Vlhosť podložnej vrstvy v hĺbke 0,3–1,0 m je väčšinou nad úrovňou bodu zníženej priepustnosti.

Obrázok 5 Vodný režim pôdy na stanovišti Mp 10 v rokoch 2009–2016



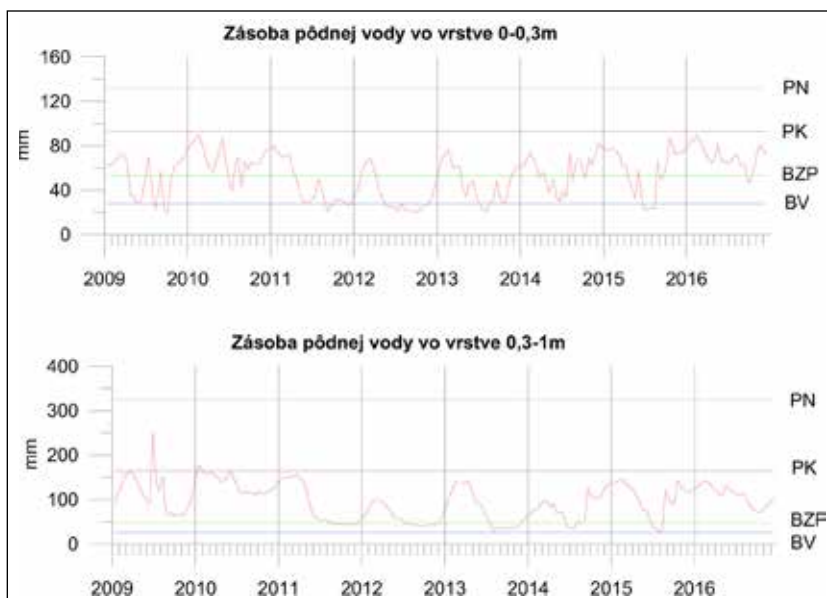
Tak ako predchádzajúce vlhkosťné charakteristiky pôd, aj zásoby pôdnej vody sú priamo závislé okrem zrážok aj od hĺbky hladiny podzemnej vody. Z tohto hľadiska pôdy monitorovaných stanovišť členíme do troch skupín:

- automorfné pôdy, v ktorých podzemná voda zásoby pôdnej vody v povrchovej metrovej hrúbke pôdneho profilu neovplyvňuje a tieto sú závislé výhradne od zrážok,
- semihydromorfné pôdy, v ktorých podzemná voda tieto zásoby ovplyvňuje nepravidelne a
- hydromorfné pôdy, v ktorých podzemná voda tieto zásoby ovplyvňuje trvale.

Automorfné pôdy

Sem sa zaraďujú pôdy stanovišť Mp 1–4 s hladinou podzemnej vody v hĺbkach 3,0–5,0 m, nad ktorou sú kapilárne neaktívne štrkové a piesočnaté vrstvy (Mp 3, 4) ako aj ťažšie aluviálne náplavy (Mp 1, 2).

Zásoby pôdnej vody v povrchovej 0–30 cm vrstve sa tu vo vegetačných sezónach pohybujú zväčša v semiaridnom až v semiuvidickom vlhkosťnom intervale, len v suchých rokoch na stanovišti Mp 3 klesajú viac alebo menej výrazne pod bod vädnutia (Obr. 6). Na stanovištiach Mp 1, 2 a 4 zásoby pôdnej vody v priebehu vegetačných sezón klesajú len pod bod zníženej prístupnosti.

Obrázok 6 Zásoba pôdnej vody na stanovišti Mp 3

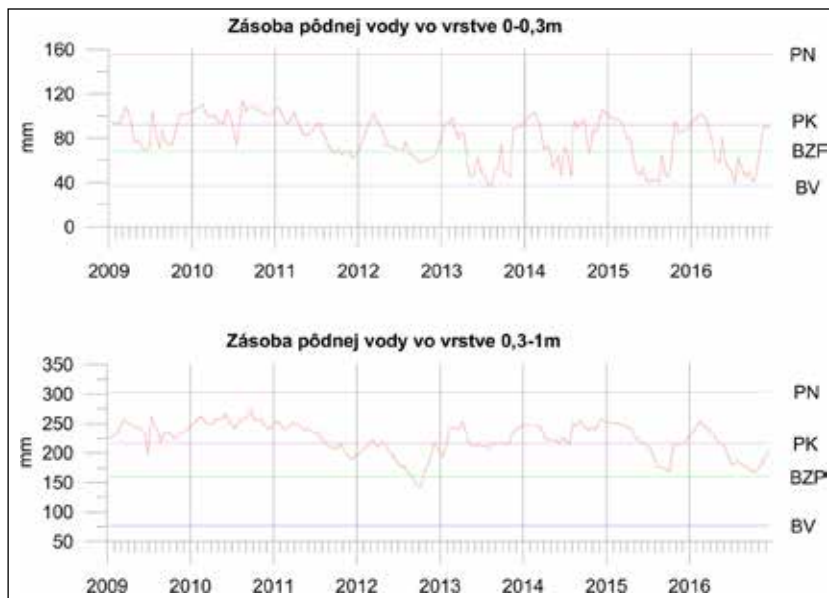
V podložnej (30–100 cm) vrstve sa zásoby vody vo vegetačných sezónach zväčša pohybujú v semiuvidickom vlhkosťnom intervale, len na stanovišti Mp 4 v suchých sezónach občas klesajú pod bod zníženej prístupnosti. To znamená, že pestované plodiny majú v tejto vrstve dostatok ľahko prístupnej pôdnej vody.

Semihydromorfné pôdy

Túto skupinu tvoria pôdy stanovišť Mp 5 a 6 s hladinou podzemnej vody 2–3 m, ktorá v priebehu roka krátkodobo vystupuje na 2 m pod povrch pôdy a predtým preschnuté vrstvy pôdneho profilu kapilárne čiastočne nasycuje.

Zásoby vody v povrchovej vrstve 0–30 cm v priebehu vegetácie klesajú pod bod zníženej prístupnosti. V podložných vrstvách (30–100 cm) sa zásoby pôdnej vody v priebehu vegetačných sezón pohybujú prevažne v semiuvidickom vlhkosťnom intervale, vo vlhkejších sezónach však vystupujú nad poľnú kapacitu (Obr. 7).

Obrázok 7 Zásoba pôdnej vody na stanovišti Mp 6

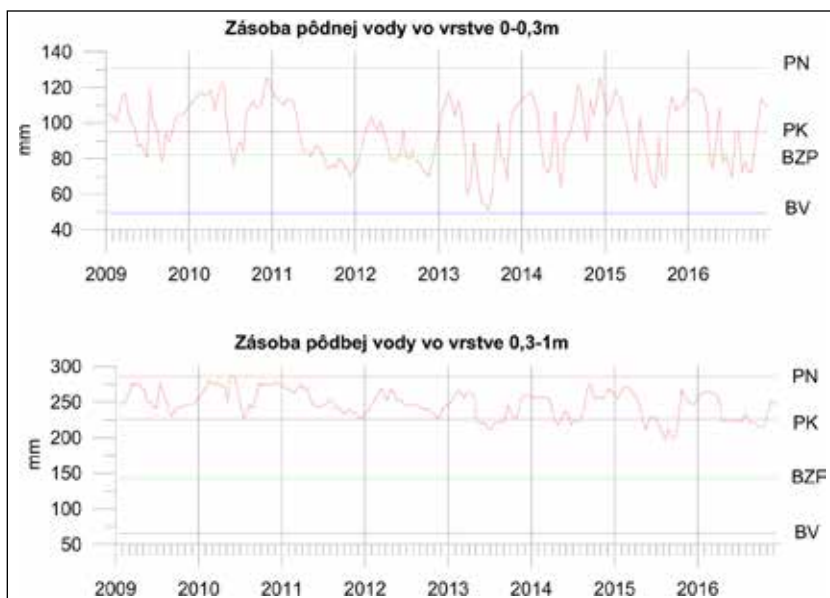
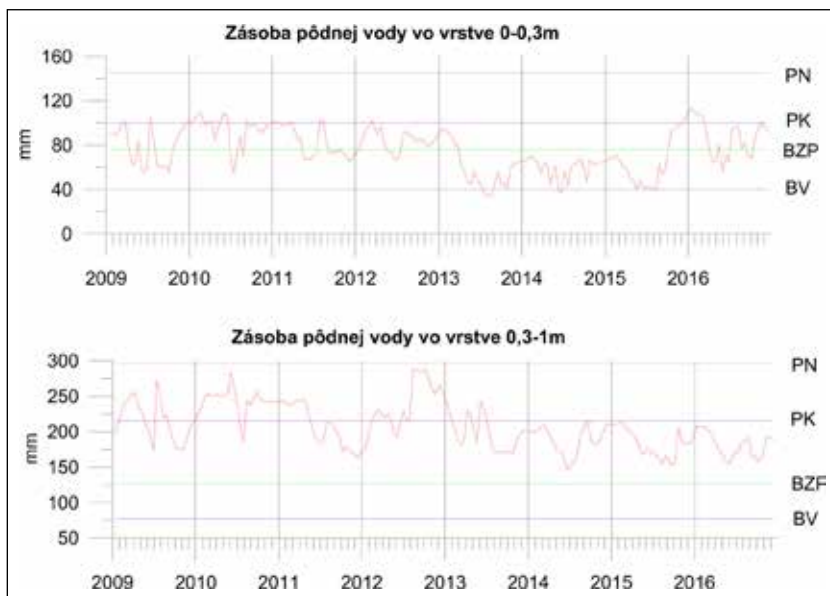


Hydromorfné pôdy

Patria sem pôdy stanovišť Mp 9, 12, 14, 16, 18 s hladinou podzemnej vody v hĺbkach 1–2,5 m, ktorá v priebehu celého roka kapilárnym vzlínaním vystupuje vysoko do pôdneho profilu. Pôdne profily tak trvale obsahujú 30–45% vlahy. Zásoby pôdnej vody v povrchovej (0–30 cm) vrstve vo vegetačných sezónach klesajú pod bod zníženej prístupnosti.

V podložnej vrstve (30–100 cm) sú zásoby pôdnej vody na týchto lokalitách priamo ovplyvňované podzemnou vodou, preto väčšinou vystupujú nad poľnú kapacitu do uvidického intervalu. Je to situácia, kedy sa vodou napĺňajú aj jemnejšie gravitačné póry, čo vyvoláva prevlhčenie a nedostatočné prevzdušnenie týchto vrstiev (Obr. 8).

Na stanovišti Mp 10, ktoré je charakteristické veľkou kolísavosťou hladiny podzemnej vody počas roka, sa tento jav odzrkadľuje aj na zásobách pôdnej vody predovšetkým v podložnej vrstve (30–100 cm), kde sa zásoby pôdnej vody pohybujú väčšinou v semiuvidickom vlhkosťnom intervale. V povrchovej vrstve (0–0,3 m) klesajú zásoby pôdnej vody vo vegetačnom období výrazne pod bod zníženej prístupnosti (Obr. 9).

Obrázok 8 Zásoba pôdnej vody na stanovišti Mp 14**Obrázok 9** Zásoba pôdnej vody na stanovišti Mp10

ZÁVER

Analýza výsledkov porovnania vodného režimu pôd v oblasti Žitného ostrova potvrdzuje, že Vodné dielo Gabčíkovo vplyva na úroveň hladiny podzemnej vody predovšetkým v oblasti zdrže Hrušov a v hornej časti prírodného kanála. Po napustení zdrže Čunovo a prírodného kanála sa hladina podzemnej vody na hornom Žitnom ostrove zvýšila v priemere o 3 až 5 metrov a jej kapilárne vztlínanie do evapotranspiračnej zóny pôdneho krytu v príľahlej oblasti znížilo závislosť vodného režimu pôd od atmosférických zrážok. V polohách s hladinou podzemnej vody v štrkovom súvrství sa zachoval pôvodný vodný režim.

Po 25 rokoch prevádzky vodného diela však sledujeme v oblasti zdrže Čunovo zreteľný pokles hladín podzemnej vody o 3–5 metrov, napríklad na lokalite Mp 3 Šamorín až na úroveň pred uvedením vodného diela do prevádzky. V hornej časti prírodného kanála, na lokalite Mp 4 Rohovce, kde nenastalo výrazné zvýšenie hladiny podzemnej vody po napustení zdrže tak ako v príľahlej oblasti zdrže, je hladina podzemnej vody v súčasnosti o cca 0,8 m nižšie ako pred uvedením vodného diela do prevádzky. Aj v strednej a dolnej časti prírodného kanála hladina podzemnej vody klesla o 0,2–0,3 m oproti východiskovému stavu. Na stanovišti Mp10 Gabčíkovo, ktoré monitoruje oblasť príľahlú k odpadovému kanálu, hladina podzemnej vody napriek veľkému rozptylu v počas roka poklesla v priemere o cca 1,0 m.

Tento pokles súvisí pravdepodobne so zanášaním nielen dna zdrže, ale aj prírodného a odpadového kanála jemnými sedimentami vytvárajúcimi nepriepustnú vrstvu, ktorá zabraňuje priesaku vody do okolia. Následkom tohto stavu je postupné zhoršovanie vodného režimu pôd v príľahlej oblasti. Príkladom je lokalita Mp 2 Hamuliakovo, kde po uvedení vodného diela do prevádzky a následnému výraznému zvýšeniu hladiny podzemnej vody nastala pozitívna zmena vodného režimu pôdy z automorfného na semihydromorfný, no od roku 2003 už podzemná voda nezasahuje do jemnozrnných sedimentov a pôda má opäť automorfný typ vodného režimu. Takisto v strednej časti prírodného kanála sledujeme postupnú zmenu vodného režimu pôd zo semihydromorfného na automorfný.

Vzhľadom na trend otepľovania, keď na území Žitného ostrova stúpila priemerná ročná teplota za posledných 10 rokov o cca 1,5° C oproti dlhodobému normálu, je pokles hladín podzemnej vody v oblasti zdrže Čunovo, prírodného a odpadového kanála veľmi negatívnym javom.

LITERATÚRA

- DODOK, R. 2017. *Monitorovanie poľnohospodárskych pôd v oblasti vplyvu VD Gabčíkovo v roku 2016*. Výročná správa. Bratislava: VÚPOP.
- FULAJTÁR, E. 1998. *Monitoring vplyvu VD Gabčíkovo na pôdy a poľnohospodárstvo*. Syntetická záverečná správa (1989–1997). Bratislava: VÚPOP.
- FULAJTÁR, E. a kol., 2003: *Súhrnné hodnotenie monitoringu poľnohospodárskych pôd v oblasti vplyvu VD Gabčíkovo za obdobie 1989–2002*. Súhrnná hodnotiacia správa, Bratislava: VÚPOP.
- Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Societas pedologica slovac, 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava, 76 s, ISBN 80-85361-70-1.

MAPOVANIE OBSAHU ÍLU V PÔDE POUŽITÍM DIGITÁLNEJ ANALÝZY RELIÉFU A ŠTATISTICKÉHO MODELOVANIA

SOIL CLAY CONTENT MAPPING USING DIGITAL RELIEF ANALYSIS AND STATISTICAL MODELLING

Lukáš Karlík¹, Igor Matečný¹, Vladimír Faltán¹, Marián Gábor¹, Martin Saksá²

*¹Prírodovedecká fakulta UK, Katedra fyzickej geografie a geoekológie
Ilkovičova 3278/6, 841 04 Bratislava, e-mail: lukaskarlik1989@gmail.com*

*²Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e-mail: m.saksa@vupop.sk*

Abstrakt

Vlastnosti pôdy a ich variabilita v priestore majú dôležitý význam pre uplatnenie „precízneho poľnohospodárstva“. Cieľom predkladaného príspevku je vytvoriť priestorovo-spojité model obsahu ílových častíc v pôde piatimi interpolačnými metódami: metóda vážená inverznou vzdialenosťou, jednoduchý kriging, kokriging, regresný kriging a geograficky vážená regresia. Za modelové územie bola zvolená časť vinohradníckej krajiny v okolí mesta Modra. Celkovo bolo analyzovaných 151 pôdných vzoriek, ktoré boli rozdelené na 136 tréningových vzoriek a zvyšných 15 bodov bolo použitých na validáciu každého testovaného modelu. Testované boli tiež vybrané atribúty reliéfu vytvorených technológiou LIDAR, ako pomocné prediktory. Presnosť použitých modelov bola hodnotená použitím strednej kvadratickej chyby, priemernej absolútnej chyby a indexu relatívneho zlepšenia. Porovnanie použitých interpolačných metód ukázalo, že najpresnejšie výsledky boli získané aplikáciou geografickej váženej regresie s nadmorskou výškou zistenou viacnásobnou krokovou lineárnou regresiou.

Kľúčové slová: obsah ílu, interpolačné metódy, LIDAR, Modra

Abstract

Soil properties and their variability in the area are of significant importance for "precision farming" implementation. The aim of this paper is to develop a spatial-continuous model of soil clay content created by five interpolation techniques: inverse distance weighting, ordinary kriging, co-kriging, regression kriging and geographically weighted regression. As the model area was selected part of the vineyard landscape around Modra town. A total of 151 soil samples were analyzed, which were divided into 136 training samples and the remaining 15 points were used to validate each tested model. The LIDAR relief attributes, as auxiliary predictors, were also tested. The accuracy of used models was evaluated using a mean quadratic error,

average absolute error, and relative improvement index. A comparison of used interpolation methods showed that the most accurate results were obtained by applying a geographic weighted regression with an altitude determined by multiple step linear regression.

Keywords: clay content, interpolation techniques, LIDAR, Modra town

ÚVOD

Vlastnosti pôdy a ich variabilita v priestore majú významný vplyv na ekonomické a environmentálne aspekty poľnohospodárskej výroby, či už v oblasti mechanizácie, nutričného manažmentu, monitorovania erózných faktorov, alebo zachovaní celkovej trvalej udržateľnosti poľnohospodárstva. Za posledné roky sa rozvíjajúce precízne poľnohospodárstvo, ako najmodernejší systém poľnohospodárskej výroby, chápe podmienky i v rámci menšej obhospodarovanej územnej jednotky (často úroveň niekoľko árov) za priestorovo diferencované (PIERCE a NOWAK, 1999). Na základe detailných máp pôdných vlastností, priestorových analýz obsahu živín v pôde a máp zachytávajúcich úrodu, možno vykonávať konkrétne opatrenia precízneho poľnohospodárstva s cieľom maximalizovať výnosy z jednotky plochy pri súčasnom znižovaní vstupov do výroby. Detailné informácie v precíznom poľnohospodárstve okrem zvýšenej ekonomiky hospodárenia prinášajú aj výber ekologickejších foriem hospodárenia.

Kvôli vysokým finančným a časovým nákladom detailného pôdneho prieskumu, spojeného s odberom pôdných vzoriek a ich následnou laboratórnou analýzou, sa stáva modelovanie pôdných vlastností na neanalyzovaných lokalitách čoraz významnejším. Modelovanie pôd z bodových údajov pomocou priestorovej interpolácie je možné i vďaka častému výskytu súvislostí medzi modelovanou (požadovanou) premennou a pomocnou spojitou premennou, ktorá je merateľná ekonomickejšie a časovo efektívnejšie, napr. snímky diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) alebo digitálneho modelu reliéfu (DMR) a dáta z nich odvodené. Priestorová interpolácia je procedúra, ktorá odhaduje hodnoty premennej na nemeranych lokalitách. Bežne používanými interpolačnými metódami vo výskume sú: metóda inverzne váženej vzdialenosti (IDW) (KARYDAS *et al.*, 2009), lineárna regresia (BOURENNANE *et al.*, 2000), jednoduchý kriging (OK) a kokriging (CK) (KNOTTERS *et al.*, 1995). V posledných rokoch sa čoraz častejšie používa aj regresný kriging (RK) (MENEZES *et al.*, 2016) a geografický vážená regresia (GWR) (SONG *et al.*, 2016).

Obsah ílu v pôde má významný vplyv pri odvodnení pôdy, ovplyvňuje jej vodnú kapacitu, prevzdušnenie, náchylnosť, resp. odolnosť voči erózii, obsah organickej zložky, kationovú výmennú kapacitu, pH a iné. Preto poznanie priestorovej distribúcie obsahu ílu možno považovať v pedologickom výskume za veľmi dôležitý atribút. Cieľom predkladaného príspevku je vytvoriť priestorovo spojité model obsahu ílových častíc v pôde pre potreby komplexného výskumu pôd vinohradníckej krajiny na príklade okolia mesta Modra. Pôdu pokladáme za jednu z najvýznamnejších zložiek *terroir*¹. Pre splnenie daného cieľa z hľadiska presnosti výstupov sme testovali viacero interpolačných metód a tie sme vzájomne porovnali.

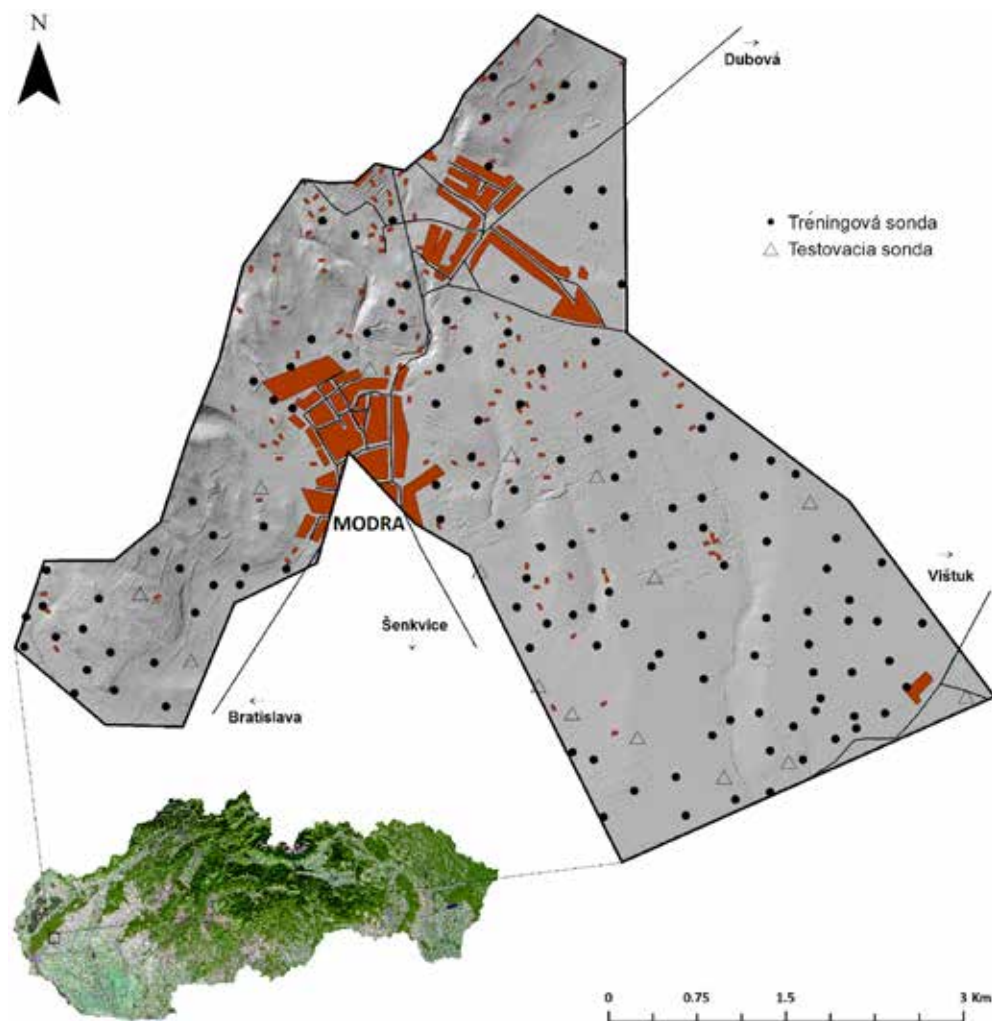
¹*Terroir* možno definovať ako regionálny koncept, v ktorom interakcia medzi organickými, anorganickými sférami krajiny a aplikovanými agro-praktikami vytvára identifikovateľné vlastnosti produktov pochádzajúcich z týchto regiónov. Koncept *terroir* sa zväčša vzťahuje na produkciu vína.

MATERIÁL A METÓDY

Charakteristika skúmaného územia

Ciele práce boli realizované na časti územia mesta Modra a obce Vínosady v okrese Pezínok, s celkovou rozlohou približne 24 km² (Obr. 1). Podľa geomorfologického členenia MAZÚRA a LUKNIŠA (1980) územie sčasti zasahuje do pohoria Malé Karpaty (podcelok: Pezinské Karpaty, časť: Homolské Karpaty) a do Podunajskej nížiny (celok: Podunajská pahorkatina, podcelok: Trnavská pahorkatina, časť: Podmalokarpatská pahorkatina). Územie je charakteristické polohou na katéne, tvorenej južnými a juhovýchodnými svahmi, ktorá je typická tokom vody a pôdneho materiálu z vyšších častí územia do nižších, kde sa vytvorili výrazné južne až juhovýchodne orientované náplavové kužele. Nadmorská výška územia je od 148 m n.m. v južnej časti územia do 364 m n.m. v jeho severozápadnej časti. Geologické podložie tvoria zväčša prolúviálne

Obrázok 1 Lokalizácia skúmaného územia s lokalizovanými odbernými miestami



sedimenty (prevažne hlinité a piesčité štrky, piesky a piesčité hliny s úlomkami hornín), menej fluviálne (hliny, piesčité hliny, hlinité piesky až štrky) a deluviálne sedimenty (hlinito-kamenité a piesčito-kamenité svahoviny a sutiny). Svahy Malých Karpát sú budované modranským granitoidným masívom (biotitický granodiorit) (GEOLOGICKÁ MAPA SLOVENSKA M 1:50 000). Z hľadiska pôdnych pomerov, vinohrady na svahoch Malých Karpát tvoria podľa SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA (2014), najmä kambizeme kultizemné terasované (KMa^{at}), textúrne hlinito-piesočnaté až piesočnato-hlinité. V nížinnej časti dominujú hnedozeme kultizemné (HMa) a hnedozeme pseudoglejové kultizemné (HMga), textúrne hlinité až ílovito-hlinité. Priemerná ročná teplota vzduchu sa v období rokov 1961 – 2010 pohybovala v rozmedzí od 8 až po 10 °C, v závislosti od nadmorskej výšky. Priemerný ročný úhrn zrážok v období rokov 1981 – 2010 sa pohybuje v rozmedzí od 600 do 800 mm (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2015).

Pôdne vzorky

V práci boli použité údaje o celkovom percentuálnom obsahu ílu z databázy základných sond Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd – KPP (NĚMEČEK *et al.*, 1967; HRAŠKO a BEDRNA, 1970). Dáta boli analyzované z neobrábaného horizontu podpovrchovej časti pôdy hlbokaj do 60 cm, kde možno predpokladať len zanedbateľnú zmenu fyzikálnych vlastností pôdy antropogénnou činnosťou. Na základe tohto predpokladu sme pre interpoláciu využili dáta nielen z plôch vinohradov, ale aj z iných tried krajinej pokrývky spadajúcich pod poľnohospodársku pôdu. Pre modelovanie a následnú verifikáciu presnosti modelu bolo použitých celkovo 151 nepravidelne rozmiestnených pôdnych vzoriek. Databáza 151 vzoriek bola ešte pred modelovaním rozdelená na dve časti náhodným výberom. Prvá databáza so 136 bodmi bola použitá ako tréningové body, ktoré vstupovali priamo do interpolácie. Zvyšných 15 bodov bolo použitých na validáciu každého testovaného modelu. Body boli rozdelené tak, aby na overenie presnosti interpolácie bolo použitých aspoň 10 % zo všetkých dostupných dát. Na kompletnom i rozdelených datasetoch bola vykonaná frekvenčná analýza. Jednotlivé histogramy boli porovnané s cieľom overiť reprezentatívnosť a celkovú vhodnosť výberu tréningových a testovacích množín údajov. Dáta boli pred interpoláciou logaritmicky transformované s cieľom priblížiť ich normálnemu rozdeleniu, ktoré je predpokladom pre kvalitnú interpoláciu.

Pomocné prediktory

S cieľom spresniť výsledky modelovania boli v prípadoch RK, CK a GWR testované ako pomocné prediktory vybrané environmentálne atribúty, ktoré sa viažu na charakter reliéfu, keďže práve reliéf možno považovať za dôležitý faktor vplývajúci na pedogénu a vlastnosti pôd. Na tvorbu pomocných prediktorov bol použitý digitálny model reliéfu (DMR) s rozlíšením 1 m a celkovou výškovou presnosťou 10 – 15 cm vytvorený technológiou LIDAR Leica ALS 70/CM. DMR bol následne zhladený pomocou nástroja Mesh Denoise (SUN *et al.*, 2007). Nástroj zanecháva terénne hrany a súčasne zhladzuje najmenšie terénne odchýlky, ktoré by pri výpočte ďalších terénnych atribútov vytvárali vo výsledných výstupoch „informačný šum“. Na zhladený DMR bol následne aplikovaný algoritmus Fill Sinks (WANG a LIU, 2006), ktorým sme odstránili

bezodtokové oblasti v DMR a zabezpečili tak jeho použiteľnosť pre hydrologicky korektné analýzy. Následne sme z DMR vypočítali sklon svahu, vertikálne a horizontálne zakrivenie reliéfu a horizontálnu a vertikálnu vzdialenosť od siete vodných tokov. V ďalšom kroku bol vyjadrený topografický index vlhkosti SAGA TWI (MOORE *et al.*, 1993). SAGA TWI sme uprednostnili pred štandardným TWI z dôvodu, že vykazuje realistickejšie vlhkosťné pomery v blízkosti tokov (BÖHNER *et al.*, 2002).

Modelovanie obsahu ílu v pôde

Pri modelovaní obsahu ílu v pôde boli použité nasledovné interpolačné metódy: metóda vážená inverznou vzdialenosťou (IDW), jednoduchý (ordinary) kriging (OK), kokriging (co-kriging) (CK), regresný kriging (RK) a geograficky vážená regresia (GWR).

Metóda vážená inverznou vzdialenosťou (IDW) je založená na geografickom zákone, ktorý definoval TOBLER (1970). Ordinary kriging (OK) vychádza z teórie priestorových náhodných polí. Interpolácia je založená na priamom stanovení priestorovej autokorelácie, teda priestorovej štruktúry javu (GALLAY, 2015). Kokriging (CK) je známy aj ako vzájomný kriging a možno ho považovať za rozšírenie krigingu (ELDEIRY a GARCIA, 2010). Regresný kriging (RK) je metóda, ktorá kombinuje regresiu skúmanej závislej premennej na nezávislých pomocných premenných s krigingom regresných rezíduí. Metóda geograficky váženej regresie (GWR) patrí do skupiny metód lokálnych analýz, ktoré zohľadňujú priestorové efekty na skúmaných vzťahoch. Podrobný matematický aparát GWR je opísaný jeho autormi FOTHERINGHAM *et al.* (2002) a CARLISLE (2005).

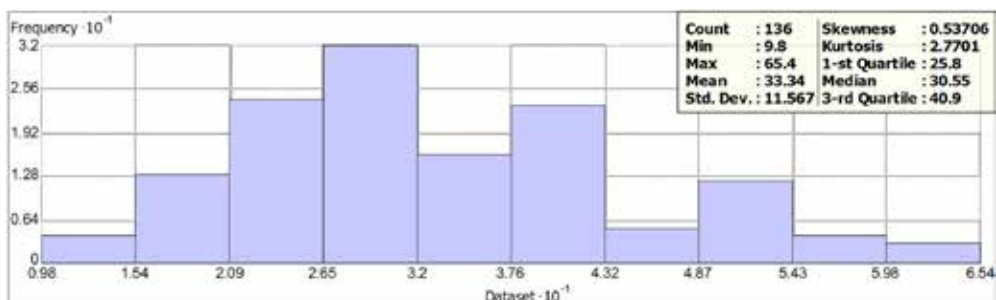
Overenie kvality všetkých testovaných modelov bolo vykonané na základe dát z testovacej množiny 15 bodov, ktorá bola od tréningovej množiny oddelená ešte pred interpoláciou. Pre hodnotenie boli použité nasledovné indexy kvality: priemerná absolútna chyba (MAE), stredná kvadratická chyba (RMSE), ktoré patria medzi najčastejšie využívané indexy overenia kvality interpolácie. Pre porovnanie všetkých modelov s najpresnejším modelom na základe ukazovateľa RMSE bola tiež vyjadrená hodnota indexu relatívneho zlepšenia (RI).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

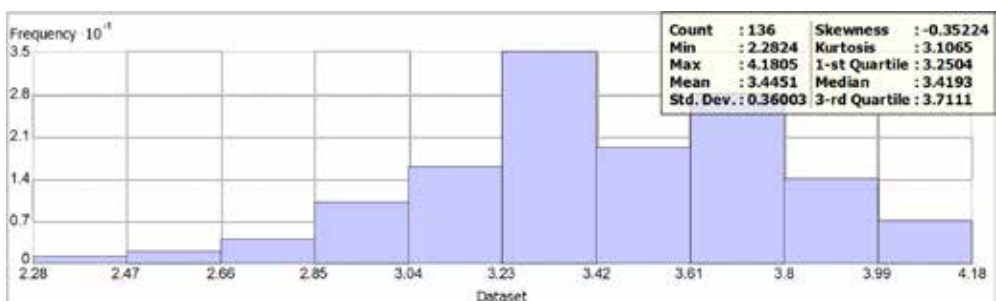
Základnú popisnú štatistiku obsahu ílu v podornici v skúmanom území pre tréningové dáta uvádza obrázok 2. Maximálne hodnoty obsahu ílu boli lokalizované v centrálnej a južnej časti skúmaného územia, ktoré ležia pod úpäťm Malých Karpát a naopak minimálny obsah ílových častíc v podornici je v pôde vo vyšších polohách skúmaného územia. Vlastnosti reliéfu majú vplyv na distribúciu vody a sedimentov v krajine a terénne atribúty, ktoré reprezentujú dynamiku vody v krajine, korelujú s vlastnosťami pôdy (SCULL *et al.*, 2003). Z vyššie uvedeného sme predpokladali, že vlastnosti pôdy skúmaného územia budú z veľkej časti determinované lokálnym reliéfom a jeho väzbou na tok vody cez skúmané územie. Tieto závislosti boli zistené viacnásobnou krokovou lineárnou regresiou. Nadmorská výška bola zvolená ako jediný vhodný prediktor ílu v pôde, ktorý dosiahol hodnoty koeficientu determinácie R^2 väčší ako 0,05 a to

hodnotu 0,26. To znamená, že 26% nárast hodnoty obsahu ílu v podornici je závislý od zmeny nadmorskej výšky. Ostatné testované, pomocné environmentálne premenné dosiahli hodnoty nižšie ako 0,05 a preto boli z interpolácie vylúčené. Nezahrnutie ostatných premenných do modelu možno odôvodniť vysokou komplexnosťou vzťahov medzi pôdnymi atribútmi a environmentálnymi prediktormi. Tieto vzťahy môžu byť natoľko komplexné, neznáme a nejasné, prípadne nelineárne, že nie sú vhodné pre lineárnu regresiu, prípadne môžu byť aplikovateľné len na malú časť skúmaného územia (McKENZIE a RYAN 1999; HENGL, 2009). Na základe frekvenčnej analýzy, bolo zistené, že dáta nie sú normálne distribuované a vykazujú pomerne vysokú „mieru šikmosti“. MOUSTAFA (2000) tvrdí, že množstvo prírodných fenoménov má tendenciu byť log-normálne distribuovaných. Na základe tohto tvrdenia sme vykonali logaritmickú transformáciu vstupných dát (Obr. 3) pričom sme získali vhodnejšiu úpravu dát pre interpoláciu, ktoré boli použité do interpolácií s výnimkou IDW, ktoré takúto transformáciu nevyžaduje.

Obrázok 2 Základná štatistická charakteristika ílu v podornici – tréningové dáta



Obrázok 3 Základná štatistická charakteristika ílu v podornici – tréningové dáta po logaritmickej transformácii



Zhodnotenie predikcie

Celkovo bolo hodnotených 5 interpolačných metód (IDW, OK, CK, RK, GWR) a z nich 72 vytvorených spojitých povrchov. Tabuľka 1 uvádza porovnanie presnosti predikčných modelov na základe hodnôt RMSE a MAE a hodnôt RI, ktoré uvádzajú o koľko % sú porovnávané modely horšie, ako najlepší referenčný model (GWR) na základe RMSE.

Tabuľka 1 Porovnanie predikčných modelov

Metóda	Typ modelu semivariogramu pre OK, CK a RK / parameter p pre IDW	Max. počet susedov	RMSE	RI	MAE
OK	Stabilný	5	9,285	-7,124	7,901
		10	9,048	-4,388	7,743
		15	9,066	-4,587	7,717
		20	9,125	-5,272	7,797
		25	9,045	-4,346	7,733
		30	9,071	-4,653	7,763
	Exponenciálny	5	9,015	-4,001	7,645
		10	8,861	-2,227	7,550
		15	8,856	-2,172	7,557
		20	8,839	-1,975	7,551
		25	8,805	-1,583	7,518
		30	8,809	-1,630	7,520
	Gaussov	5	9,285	-7,124	7,901
		10	9,048	-4,388	7,743
		15	9,066	-4,588	7,717
		20	9,125	-5,272	7,797
		25	9,045	-4,346	7,733
		30	9,071	-4,653	7,763
	Sférický	5	9,165	-5,734	7,793
		10	9,196	-6,097	7,567
		15	9,066	-4,587	7,581
		20	9,125	-5,272	7,616
		25	9,045	-4,346	7,524
		30	9,071	-4,653	7,509

Metóda	Typ modelu semivariogramu pre OK, CK a RK / parameter p pre IDW	Max. počet susedov	RMSE	RI	MAE
CK + DMR	Stabilný	5	9,137	-5,408	7,788
		10	8,991	-3,721	7,743
		15	9,027	-4,142	7,762
		20	9,057	-4,489	7,798
		25	9,001	-3,841	7,751
		30	9,014	-3,994	7,762
	Exponenciálny	5	8,980	-3,599	7,886
		10	8,853	-2,134	7,536
		15	8,851	-2,111	7,549
		20	8,833	-1,904	7,548
		25	8,801	-1,534	7,543
		30	8,805	-1,581	7,553
	Gaussov	5	9,285	-7,123	7,901
		10	9,048	-4,388	7,743
		15	9,066	-4,588	7,717
		20	9,125	-5,272	7,797
		25	9,045	-4,346	7,733
		30	9,071	-4,653	7,763
	Sférický	5	9,251	-6,724	7,859
		10	9,068	-4,610	7,692
		15	9,065	-4,576	7,699
		20	9,049	-4,393	7,701
		25	8,982	-3,627	7,627
		30	8,943	-3,176	7,576

Metóda	Typ modelu semivariogramu pre OK, CK a RK / parameter p pre IDW	Max. počet susedov	RMSE	RI	MAE
IDW	1	5	9,497	-9,564	7,553
		10	9,460	-9,139	7,698
		15	9,689	-11,777	7,715
		20	10,053	-15,983	8,034
		25	10,238	-18,114	8,034
		30	10,323	-19,094	8,245
	2	5	9,009	-3,930	7,548
		10	8,929	-3,006	7,727
		15	9,010	-3,945	7,727
		20	9,117	-5,183	7,724
		25	9,197	-6,106	7,720
		30	9,238	-6,578	7,730
	3	5	8,988	-3,694	7,740
		10	8,833	-1,905	7,748
		15	8,828	-1,844	7,764
		20	8,828	-1,848	7,780
		25	8,844	-2,029	7,796
		30	8,852	-2,124	7,802
RK	Exponenciálny	15	8,850	-2,100	8,196
GWR	-	-	8,668	-	7,521

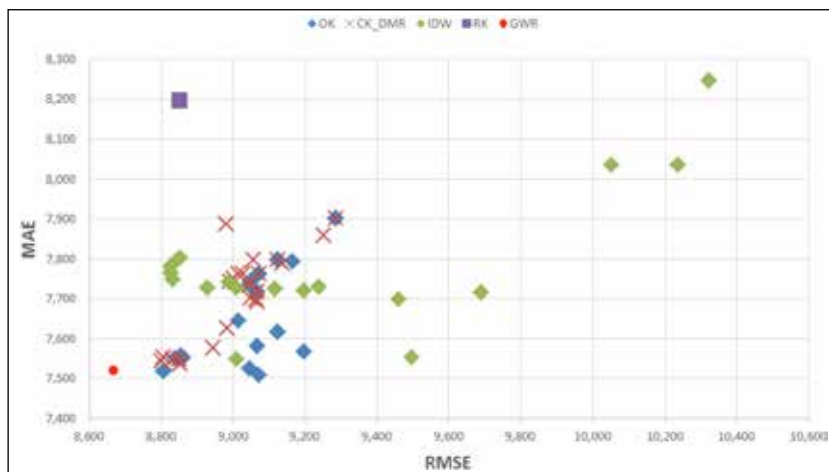
Z porovnania MAE, RMSE a RI možno sformulovať niekoľko záverov. Najlepšie výsledky spomedzi testovaných kalibrácií OK sme získali použitím exponenciálneho modelu semivariogramu. Hodnoty RMSE vyjadrené na testovacích bodoch dosiahli úroveň 8,805 pričom v prípade sférického, stabilného alebo gaussovho modelu presiahli hodnotu 9,000. Exponenciálny model OK prevýšil ostatné modifikácie aj v hodnotách MAE. Priemerná absolútna chyba exponenciálneho modelu OK dosiahla pri najlepšej kalibrácii hodnotu 7,550, čo je v porovnaní s inými modelmi hodnota nižšia o 0,05 až 0,350. Takmer identické výsledky boli dosiahnuté zahrnutím nadmorskej výšky do modelovania. Najlepšie kalibrácie CK + nadmorskej výšky dosiahli síce zníženie RMSE na testovacej vzorke o 0,04 až 0,21, ale v niektorých modifikáciách OK boli dosiahnuté nižšie hodnoty MAE. Výsledky modelovania použitím IDW s parametrom vzdialenosti 1 viedli celkovo k najmenej presným výsledkom, kedy bola hodnota RMSE vyššia v niektorých prípadoch viac ako 10 a hodnota MAE prekročila hodnotu 8,000.

Lepšie výsledky boli dosiahnuté pri parametroch 2 a 3, kde hlavne pri nastavení parametra 3, boli hodnoty RMSE na úrovni približne 8,300. Slabšie výsledky pri najlepších kalibráciách v porovnaní s najlepšimi modelmi OK, CK alebo GWR boli dosiahnuté pri hodnotení MAE, kde použitím IDW boli hodnoty MAE vyššie približne o 0,2 až 0,3. Nízke hodnoty RMSE boli dosiahnuté aplikáciou RK, kde na testovacej vzorke bola dosiahnutá úroveň 8,850. RK v tomto prípade však nedosiahol uspokojivé výsledky, nakoľko hodnota MAE dosiahla úroveň 8,196, čo je horšie

aj v porovnaní s ostatnými interpolačnými technikami. Podľa HERBST *et al.* (2006) prekonáva RK použitím terénnych atribútov OK, v prípade ak koeficient determinácie R^2 týchto pomocných premenných dosahuje hodnoty od 0,20 vyššie. Hoci táto podmienka bola splnená, horší výsledok RK odôvodňujeme predovšetkým tým, že v niektorých miestach skúmaného územia je variabilita modelovanej premennej relatívne vysoká. Pre také prípady považujú LASLETT a McBRATNEY (1990) vhodnejší kriging v porovnaní s regresným krigingom.

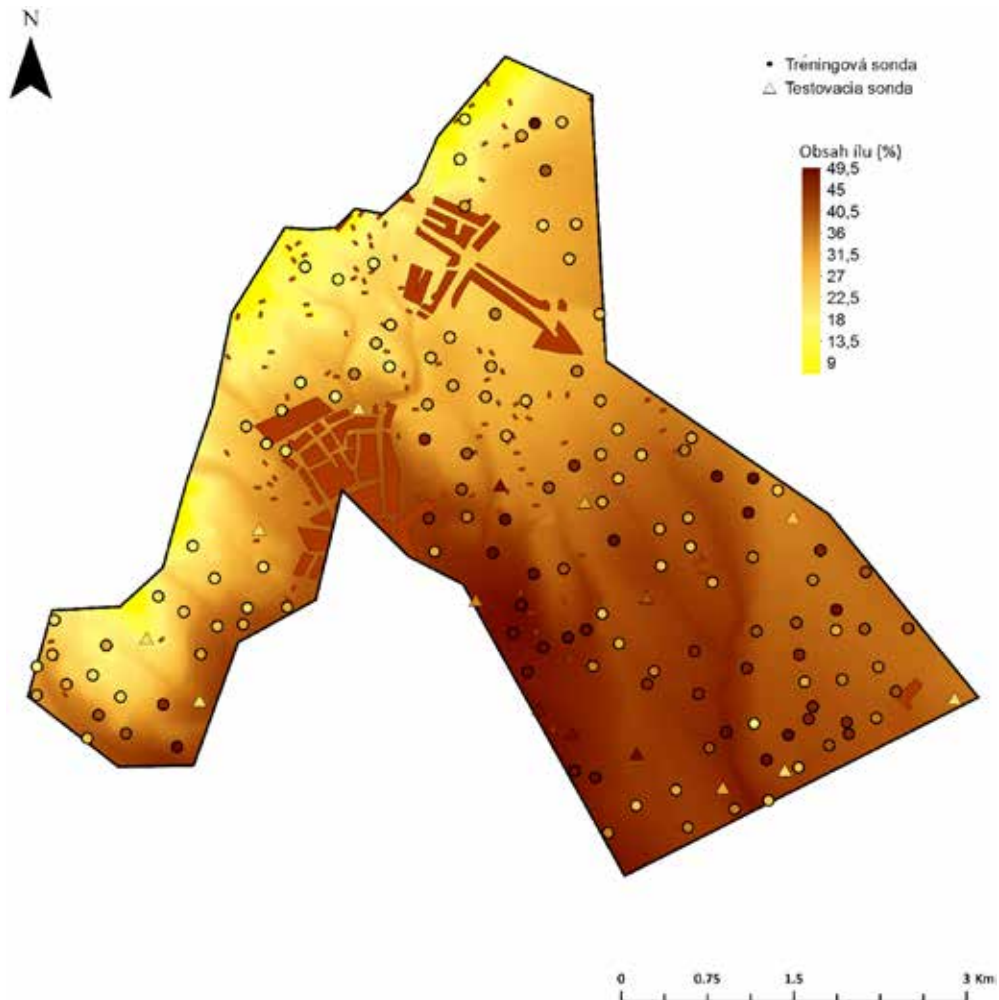
Najlepšie výsledky boli dosiahnuté aplikáciou lokálneho modelu GWR, ktorým boli dosiahnuté hodnoty RMSE na úrovni 8,668 a MAE na úrovni 7,521. Tým sa potvrdilo, že aplikácia lokálnych regresných koeficientov v porovnaní s globálnymi v RK udáva lepšie výsledky. Modul GWR implementovaný v SAGA GIS automaticky stanovil ako dosah modelu hodnotu 2 000 m od predikovaného bodu, ktorá akoby rozdelila skúmané územie na dve polovice, a to rovinatú v južnej časti a hornatú v severnej. V týchto častiach územia je práve odlišná úroveň regresných koeficientov nadmorskej výšky v regresnom modeli, nakoľko zmena a teda aj vplyv nadmorskej výšky je silnejší v severnej časti územia, kde sa hodnoty obsahu ílu menia rovnomernejšie s ohľadom na reliéf, v porovnaní s južnou rovinatejšou časťou, kde obsah ílu v podornici bude viac determinovať aj iný faktor, ktorý do modelovania nebol obsiahnutý. Hodnoty RMSE pri použití GWR boli najnižšie spomedzi všetkých testovaných modelov. MAE bolo nižšie len v prípade sférického a exponenciálneho modelu CK s použitím nadmorskej výšky, ako pomocnej premennej a sférického a exponenciálneho modelu OK. Percentuálne sa však jednalo o zanedbateľné hodnoty do 0,15 %. V ostatných prípadoch GWR prekonalo pri hodnotení MAE zvyšné modely až o 5–9 %. Výsledky GWR dosiahli zlepšenie predikcie v niektorých prípadoch oproti IDW až takmer o 20 %. V priemere GWR dosiahlo pri hodnotení RMSE lepšie výsledky v porovnaní s najlepšími modelmi OK a CK približne o 1,5 % a v porovnaní s RK o 2,1 %. Pre lepšie posúdenie a porovnanie presnosti jednotlivých interpolačných modelov sme zhotovili nasledovný graf (Obr. 4). Na osi x sú uvedené hodnoty RMSE a na osi y hodnoty MAE pre všetky testované modely. Čím viac sa model približuje k počiatku grafu, tým je možné ho považovať za presnejší.

Obrázok 4 Porovnanie presnosti modelov na základe MAE a RMSE



Z grafu možno potvrdiť, že GWR prekonáva všetky ostatné modely. Treba však spomenúť, že vzhľadom na relatívne hustú distribúciu pôdnych sond, boli dosiahnuté uspokojivé výsledky pri všetkých testovaných metódach. Extrémne vysoké hodnoty RMSE pri IDW sú zapríčinené len kalibráciou modelu, nakoľko pri vhodnejšie zvolených parametroch je v našom prípade IDW len nepatrne horšia od výsledkov dosiahnutých pri najlepších nastaveniach ostatných testovaných metód. Spresnenie dosiahnutých výsledkov by mohlo priniesť zakomponovanie ďalších pomocných premenných do modelov RK alebo GWR, ktorých koeficient determinácie by bol vyšší ako 0,05. Práve za slabšiu stránku práce by sme mohli považovať absenciu pomocných dát z oblasti diaľkového prieskumu Zeme, z ktorých možno odvodiť rôzne spektrálne indexy (napríklad NDVI, SAVI a iné), ktoré by bolo možné považovať za pomocné premenné. Obrázok 5 zaznamenáva interpolovaný povrch použitím metódy GWR v skúmanom území.

Obrázok 5 Priestorová distribúcia obsahu ílu v podornici na základe aplikácie GWR



Najpresnejšie výsledky boli získané aplikáciou geografický váženej regresie (GWR), ktorá dosiahla najnižšie hodnoty strednej kvadratickej chyby (RMSE) spomedzi všetkých porovnávaných modelov, avšak pri hodnotení priemernej absolútnej chyby (MAE) ju prekonal niektoré kalibrácie metódy ordinary kriging (OK). Najmenej presné vyšli výsledky aplikáciou metódy IDW, avšak výrazne horšie výsledky sme zaznamenali len pri niektorých kalibráciách, preto v našom prípade nemožno metódu IDW označiť ako za úplne nevhodnú.

ZÁVER

Výsledky príspevku prezentujú proces tvorby najvhodnejšieho modelu spojitého povrchu obsahu ílu v podornici na základe údajov KPP, ktoré možno považovať za najkomplexnejší zdroj kvantitatívnych pôdnych údajov na Slovensku. Za modelové územie bola zvolená časť územia mesta Modra, v ktorej sú lokalizované areály vinohradov, ktoré sú predmetom ďalšieho výskumu. Celkovo bolo v práci testovaných päť interpolačných metód a ich 72 kalibrácií. Bolo zistené, že vzhľadom na relatívne hustú sieť pôdnych sond, boli odchýlky v presnosti predikcie medzi jednotlivými modelmi minimálne.

Práca približuje podstatu interpolačných metód a ich integráciu v prostredí GIS. Pôdne vlastnosti, či už fyzikálne alebo chemické a ich presné spojité modely budú do budúcnosti zohrávať čoraz väčšiu úlohu, pretože sú základným vstupom pre precízne poľnohospodárstvo. Na základe spojitých pôdnych modelov bude možné predpovedať a modelovať ďalšie neznáme veličiny, ktoré majú priamy súvis s precíznym hospodárením. Výzvou pre ďalšiu prácu bude teda prepojenie interpolačných modelov z pôdnych dát s konkrétnymi požiadavkami poľnohospodárov. Nami vytvorený spojitý povrch bude využitý pre kreovanie produkčných zón vinohradov v Modre.

Presnosť výsledkov sa zvýšila integráciou pomocných premenných, ktoré s modelovanou premennou vykazovali istú mieru lineárnej závislosti. Práve integrácia environmentálnych ukazovateľov, ktoré vplyvajú na pedogénu možno považovať za veľmi užitočnú i napriek tomu, že v našom území sa z dostupných a testovaných premenných do modelov použila iba nadmorská výška. Veľký potenciál v modelovaní majú produkty diaľkového prieskumu Zeme, ktorých rozlišovacia úroveň i dostupnosť sa neustále zvyšujú. Satelitné i letecké snímky, respektíve ich jednotlivé kanály a ich kombinácie v podobe rôznych indexov, môžu byť vhodným prediktorom pre modelovanú premennú. Veľkou výzvou do budúcnosti bude aplikácia týchto metód do poľnohospodárskej praxe, s cieľom zvýšiť kvalitu a množstvo produkcie pri súčasnom znižovaní nákladov na produkciu.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci podpory projektov: VEGA 1/0540/16, VEGA 1/0421/16 a APVV-15-0579

LITERATÚRA

- BÖHNER, J., KÖTHE, R., CONRAD, O., GROSS, J., RINGELER, A., SELIGE, T. 2002. Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parametrisation. In: MICHELI, E., NACHTERGAELE, F.O., JONES, R.J.A., MONTANARELLA, L. (eds): *Soil Classification 2001*. European Soil Bureau, Research Report No. 7, EUR 20398 EN, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002, s. 213 - 222.
- BOURENNANE, H., KING, D., COUTURIER, A. 2000. Comparison of kriging with external drift and simple linear regression for predicting soil horizon thickness with different sample densities. *Geoderma*, 97(3-4), 2000, s. 255 - 271.
- CARLISLE, B.H. 2005. Modelling the Spatial Distribution of DEM Error. *Transactions in GIS*, 9(4), 2005, s. 52 - 540.
- ELDEIRY, A.A., GARCIA, L.A. 2010. Comparison of Ordinary Kriging, Regression Kriging, and Cokriging Techniques to Estimate Soil Salinity Using LANDSAT Images. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(6), 2010, s. 355 - 364.
- FOTHERINGHAM, A.S., BRUNSDON, C., CHARLTON, M. 2002. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Chichester: Wiley, 2002. 284 s. ISBN 978-0-471-49616-8.
- GALLAY, M. 2015. *Digitálne modelovanie reliéfu v open-source GIS*. Košice: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, 2015. 118 s. ISBN 978-80-8152-289-5.
- Geologická mapa Slovenska M 1: 50 000* [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2013. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/gm50js>.
- HRAŠKO, J., BEDRNA, Z. 1970. Soil mapping of the territory on Slovakia [Mapovanie pôd na Slovensku]. *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznalctva a výživy rastlín*. Bratislava: Slovenská poľnohospodárska akadémia v Prírode, vydavateľstve pôdohospodárskej literatúry, 1970, s. 13-19.
- HENGL, T. 2009. *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. University of Amsterdam, 2009. 290 s. ISBN 978-90-9024981-0.
- HERBST, M., DIEKKRÜGER, B., VEREECKEN, H. 2006. Geostatistical co-regionalization of soil hydraulic properties in a micro-scale catchment using terrain attributes. *Geoderma*, 132(1-2), 2006, s. 206 - 221.
- KARYDAS, CH.G., GITAS, I.Z., KOUTSOGIANNAKI, E., LYDAKIS-SIMANTIRIS, N., SILLEOS, G.N. 2009. Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping agricultural topsoil properties in Crete. *EARSeL eProceedings*, 8(1), 2009, s. 26 - 39.
- KNOTTERS, M., BRUS, D.J., OUDE VOSHAAR, J.H. 1995. A comparison of kriging, co-kriging and kriging combined with regression for spatial interpolation of horizon depth with censored observations. *Geoderma*, 67(3-4), 1995, s. 227 - 246.
- LASLETT, G.M., McBRATNEY, A.B. 1990. Further Comparison of Spatial Methods for Predicting Soil pH. *Soil Science Society of America Journal*, 54(6), 1990, s. 1553 - 1558.
- MAZÚR, E., LUKNIŠ, M. 1980. Mapa geomorfologických jednotiek. *Atlas SSR*. Bratislava: SAV, SÚGK, 1980, s. 55.
- McKENZIE, N.J., RYAN, P.J. 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma*, 89(1-2), 1999, s. 67 - 94.
- MENEZES, M.D.D., SILVA, S.H.G., MELLO, C.R.D., OWENS, P.R., CURI, N. 2016. Spatial Prediction of Soil Properties in Two Contrasting Physiographic Regions in Brazil. *Scientia Agricola*, 73(3), 2016, s. 274 - 285.
- MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NIELSEN, G.A., PETERSON, G.A. 1993. Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57(2), 1993, s. 443 - 452.
- MOUSTAFA, M.M. 2000. A geostatistical approach to optimize the determination of saturated hydraulic conductivity for large-scale subsurface drainage design in Egypt. *Agricultural Water Management*, 42(3), 2000, s. 291 - 312.
- NĚMEČEK, J., DAMAŠKA, J., HRAŠKO, J., BEDRNA, Z., ZUSKA, V., TOMÁŠEK, M., KALENDA, M. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR*. Souborná metodika. Díl první. Metodika terénního průzkumu, sestavování půdních map, kartogramů a průvodních zpráv. Geneticko-agronomická klasifikace půd ČSSR. Praha: Ministerstvo zemědělství a výživy, 1967. 246 s.
- PIERCE, F.J., NOWAK, P. 1999. Aspect of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*, 67, 1999, s. 1 - 85.
- SCULL, P., FRANKLIN, J., CHADWICK, O.A., McARTHUR, D. 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography*. 27(2), 2003, s. 171 - 197.
- SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV 2015. *Klimatický atlas Slovenska*. Bratislava: SHMÚ, 2015. 132 s. ISBN 978-80-88907-90-9.
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska*. *Bazálna*

- referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie. Bratislava: NPPC – VÚPOP Bratislava, 2014. 96 s. ISBN 978-80-8163-005-7.
- SONG X.D., BRUS, D.J., LIU, F., LI, D.C., ZHAO, Y.G., YANG, J.L., ZHANG, G.L. 2016. Mapping soil organic carbon content by geographically weighted regression: A case study in the Heihe River Basin, China. *Geoderma*, 261, 2016, s. 11 - 22.
- SUN, X., ROSIN, P., MARTIN, R., LANGBEIN, F. 2007. Fast and Effective Feature-Preserving Mesh Denoising. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(5), 2007, s. 925 - 938.
- TOBLER, W.R. 1970. A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 1970, s. 234 - 240.
- WANG, L., LIU, H. 2006. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2), 2006, s. 193 - 213.
-

PRÍSPEVOK K TMAVÝM PÔDAM NA SLOVENSKU PODĽA KRITÉRIÍ INBS

CONTRIBUTION TO BLACK SOILS IN SLOVAKIA ACCORDING TO INBS CRITERIA

Jozef Kobza, Boris Pálka

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy –
Regionálne pracovisko, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, e-mail: j.kobza@vupop.sk

ABSTRAKT

V príspevku sú hodnotené tmavé pôdy Slovenska podľa kritérií INBS (*International Network of Black Soils*). Pre ich hodnotenie bol použitý široký súbor pedologických sond (17 620) z obdobia Komplexného prieskumu pôd (KPP), ako aj pôdnych monitorovacích sond Slovenska (318). Zisťované boli parametre podľa INBS: hrúbka humusového horizontu, obsah organického uhlíka a pôdnej organickej hmoty, ako aj stupeň nasýtenia bázami. Taktiež sme hodnotili aj niektoré kvalitatívne ukazovatele (obsah celkového dusíka – N_{tot} , pomer C/N, pomer uhlíka humínových kyselín a fulvokyselín a farebný kvocient (Q^4_6)). Na základe dosiahnutých výsledkov bolo zistené, že výmera tmavých pôd v zmysle kritérií INBS činí 93 654,63 ha, čo predstavuje 19,7 % všetkých tmavých pôd mapovaných podľa BPEJ a 3,92 % z výmery všetkých poľnohospodárskych pôd Slovenska. Vyznačujú sa priemernou hrúbkou molických humusových horizontov 57 cm, priemerným obsahom organického uhlíka 2,66 % a obsahom pôdnej organickej hmoty 4,58 %. Sú to pôdy značne sorpčne nasýtené bázami (priemerne 96,65 %). Z kvalitatívnych parametrov majú hodnotené tmavé pôdy stredný obsah dusíka (pomer C/N dosahuje priemerne hodnotu 9,79). Vyznačujú sa vyzretou, dobre humifikovanou pôdnou organickou hmotou ($C_{HK}/C_{FK} > 1$ a farebný kvocient Q^4_6 dosahuje priemernú hodnotu 4,41). Využívajú sa prevažne ako orné pôdy.

Kľúčové slová: tmavé pôdy, kritériá INBS, monitoring pôd, Slovensko

ABSTRACT

Black soils of Slovakia according to INBS (*International Network of Black Soils*) criteria are evaluated in this contribution. Numerous files of soil profiles from the General soil survey of agricultural land period (17 620) as well as monitoring sites database (318) have been reviewed for their evaluation. The following parameters according to INBS criteria were evaluated: a thick layer of humus, a soil organic carbon (SOC) and soil organic matter (SOM) as well as a base saturation. In addition, some qualitative parameters of dark-coloured soils have been also evaluated (total nitrogen content – N_{tot} , C/N ratio, C_{HA}/C_{FA} ratio and colour quotient Q^4_6 , as well).

On the basis of obtained results there was determined that the area of black soils according to INBS criteria represents 93 654.63 ha what is 19.7% of all black soils mapped on agricultural soils using land evaluation soil ecological unit's database in Slovakia. These soils are characteristic with average thick humus layer of 57 cm and soil organic carbon content (SOC) of 2.66 % as well as 4.58 % of soil organic matter (SOM) with high base saturation (96.65 %). From among the qualitative parameters the evaluated black soils are characteristic with medium content of total nitrogen (N_{tot}) – average C/N ratio is 9.79. Black soils contain well humificated soil organic matter (mean values of $C_{\text{HA}}/C_{\text{FA}} > 1$ and coloured quotient Q_6^4 is 4.41. These soils are intensively cultivated as arable land.

Keywords: black soils, INBS criteria, soil monitoring, Slovakia

ÚVOD

Medzinárodná sieť tmavých (čiernych = black) pôd (INBS – International Network of Black Soils) bola spustená v marci 2017 pri FAO v Ríme počas Globálneho sympózia o pôdnom organickom uhlíku (GSOC 17) pod záštitou Globálneho partnerstva o pôde (GSP FAO). Cieľom iniciatívy je poskytnúť poznatkovú platformu o problematike týkajúcej sa ochrany a udržateľného manažmentu tmavých pôd vrátane technickej podpory a spolupráce. Podľa predbežnej analýzy 62 krajín sveta má viac ako 5 % tmavých pôd, za EÚ sú to Bulharsko, Česká republika, Maďarsko, Rumunsko a Slovensko. Pod termínom „black soils“ sú v chápaní národných pôdnych klasifikácií zahrnuté rôzne typy pôd v škále od tmavosivých až po čierne. Tak napríklad v Indii sú tieto pôdy klasifikované ako Vertisoly (ROY *et al.*, 1962). V Číne tieto pôdy korešpondujú s vysokým obsahom organickej hmoty (6–8 %) (WEN *et al.*, 2001). Podľa USDA Taxonomy korešpondujú tmavé pôdy s Mollisolmi, pričom v systéme WRB (2015) tieto pôdy zahŕňajú referenčné skupiny pôd Chernozems, Kastanozems a Phaeozems. V našich podmienkach podľa MKSP (2014) v súvislosti s kritériami INBS sa jedná hlavne o černoze a čiernice (t.j. pôdy s molickým humusovým horizontom). Cieľom práce je hodnotenie tmavých pôd z hľadiska ich výskytu a kvality na Slovensku v zmysle kritérií INBS, pričom porovnáваме ich rozšírenie aj podľa BPEJ v zmysle kritérií MKSP (2014).

MATERIÁL A METÓDY

Pre vytvorenie siete INBS sú uvedené kritériá a predbežná definícia tmavej pôdy ako pôdy, ktoré obsahujú:

- minimálnu hrúbku humusového horizontu 25 cm;
 - obsah pôdneho organického uhlíka (SOC) viac ako 2 % a obsah pôdnej organickej hmoty (SOM) v rozpätí 2 – 20 % (okrem histických epipedónov);
 - vysokú sorpčnú nasýtenosť (viac ako 50 %);
 - priaznivý vodno-vzdušný režim.
-

V korelácii na našu klasifikáciu pôd (Kolektív, 2014) sa v našich podmienkach jedná o pôdy s výskytom molického humusového horizontu, ktorý má:

- hrúbku viac ako 10 cm
- obsah organického uhlíka 1 – 20 % hm.
- farbu:
 - za vlhka s hodnotami Value < 3,0, Chroma < 3,0 za sucha s hodnotami Value < 5,0;
 - Value za vlhka i sucha aspoň o 1 stupeň tmavšie, alebo Chroma za sucha i mokra o 2 stupne nižšie ako pri C horizonte;
- nasýtenosť sorpčného komplexu bázickými kationmi >50 %;
- minimálne 3 z nasledujúcich znakov:
 - podiel viazaných humínových kyselín s Ca (Mg, Al, Fe) z celkovej sumy humínových kyselín > 40 %;
 - pomer CHK/CFK >1;
 - pomer obsahu viazaných a voľných humínových kyselín > 3;
 - podiel voľných humínových kyselín z celkovej sumy humínových kyselín < 20 %;
 - farebný kvocient $Q_{\frac{4}{6}}$ humínových kyselín < 3, pre humusové látky < 4;
 - pomer celkového Ct / Nt < 12

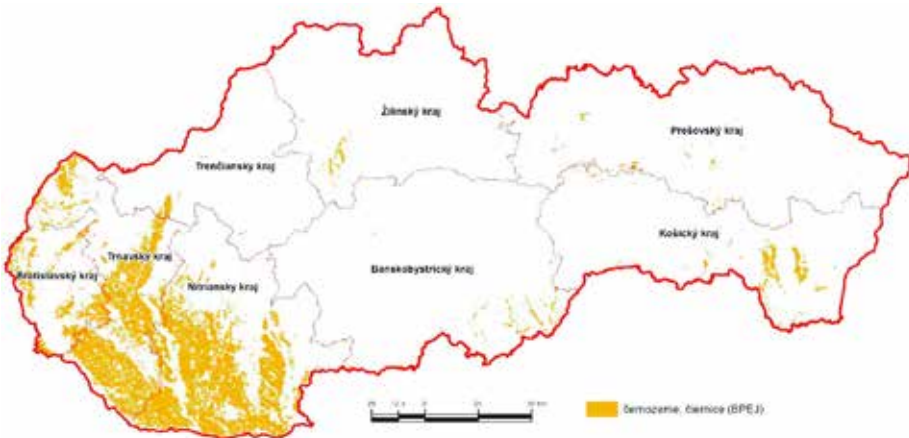
Pri hodnotení tmavých pôd Slovenska sme vychádzali z informačného systému pôd – pedologické sondy z Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd (17 620), ako aj pôdne monitorovacie sondy Slovenska (318) spolu s údajovou databázou príslušných sond. Grafické výstupy boli spracované v prostredí GIS, základné matematicko-štatistické vyhodnotenie nameraných údajov bolo urobené podľa zaužívaných štatistických metód v prostredí GIS.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Spoločnou črtou tmavých pôd je akumulácia a premeny organických látok černoziemného typu, výsledkom ktorých je molický diagnostický humusový horizont, prítomný vo všetkých komponentoch a viac alebo menej výrazné znaky paleohydromorfizmu až recentného hydromorfizmu celkovo slabšej intenzity. Ďalej je tu výrazná prevaha fenoménov typu černoziemí, nízky stupeň vnútornej kontrastnosti štruktúr a malá zložitosť, to znamená, že sú to celkovo značne homogénne asociácie pôd.

Na obrázku 1 je znázornené rozšírenie tmavých pôd podľa kritérií INBS (*International Network of Black Soils*).

Tieto pôdy sa vyskytujú prevažne v juhozápadnej časti Slovenska, kde patria medzi naše najúrodnejšie, prevažne orné pôdy. Akcesoricky sú rozptýlené aj v ostatných častiach Slovenska s určitými fenoménmi (paleo)hydromorfizmu a zodpovedajú prevažne našim čierniciam. Takéto pôdy sa vyskytujú často aj v chladnejších a vlhkejších oblastiach so svahovitou 3 – 5°, ale aj viac a často i s obsahom skeletu v pôdnom profile (KOBZA, 2004). Na základe interpolácie všetkých existujúcich a dostupných pedologických sond vrátane monitorovacích sond SR predstavujú podľa kritérií INBS celkovú výmeru 93 654,63 ha.

Obrázok 1 Rozšírenie tmavých pôd na Slovensku podľa kritérií INBS**Obrázok 2** Rozšírenie tmavých pôd podľa BPEJ**Obrázok 3** Rozšírenie tmavých pôd podľa kritérií INBS a BPEJ

Pre porovnanie s kritériami INBS uvádzame na obrázkoch 2 a 3 distribúciu všetkých tmavých pôd Slovenska s výskytom molického humusového horizontu podľa BPEJ v zmysle kritérií MKSP SR (KOLEKTÍV, 2014).

Tieto pôdy zaberajú oveľa väčšiu výmeru v porovnaní s tmavými pôdami podľa kritérií INBS, a to 474 855,2 ha. Tmavé pôdy podľa kritérií INBS zaberajú teda len 19,72 % zo všetkých tmavých pôd Slovenska s molickým humusovým horizontom. Je však potrebné uviesť, že všetky naše tmavé pôdy s molickým humusovým horizontom klasifikované ako černoze a čierne zahŕňajú aj pôdy s plytším humusovým horizontom (< 25 cm), čo je v súlade s našim Morfogenetickým klasifikačným systémom pôd (KOLEKTÍV, 2014), kde sa požaduje hrúbka molického humusového horizontu (Am) viac ako 10 cm a čo je v rozpore s kritériami INBS (minimálna hrúbka humusového horizontu je 25 cm), takže ich celková výmera je logicky väčšia (Obr. 1 a 2).

Obrázok 4 Tmavé pôdy – Černozem kultivovaná (Jaslovce) s hrúbkou Am horizontu < 25 cm (mimo kritérií INBS)



Navyše v našom hodnotení (podľa BPEJ) sú zahrnuté aj asociácie tmavých pôd vyskytujúcich sa na styku s asociáciami hnedozemí (najmä černoze hnedozemné) majúce znaky prechodu k hnedozemnému humusu (podľa mikromorfologického štúdia tu prevládajú hnedé difúzne rozptýlené formy humusu) (ČURLÍK, 1975). Dokazujú to aj viaceré detailné kvartérno-geologické výskumy, v rámci ktorých sú sedimenty takýchto polôh označované ako deluviálne, alebo proluviálne (najmä práce z východnej časti Podunajskej nížiny – VAŠKOVSKÝ a HALOUZKA, 1976, KOŠTIALIK, 1974). Pri komponentoch tejto asociácie nevyklúčujeme aj možnosť vylúhovania karbonátov v rozdielnej hĺbke z vrchnej časti pôdneho profilu, ale ani ich opätovný vzostup a rekryštalizáciu (tzv. „pulzácia“ autigénnych uhličitanov) (HRAŠKO, 1977).

Na druhej strane asociácia tmavých pôd s molickým humusovým horizontom tvorí často najmä na rovinatých prvkoch reliéfu asociáciu s fluvizemiami, ktoré však nemajú molický humusový horizont.

Špeciálne postavenie v pôdnom pokryve Slovenska majú tmavo sfarbené pôdy s molickým humusovým horizontom, ktoré sa vyskytujú aj mimo černozemných oblastí. Tieto pôdy sú rozšírené v chladnejších a vlhkejších oblastiach so svahovitou 3–5°, niekedy aj viac a často

i s určitým obsahom skeletu v pôdnom profile (Obr. 5). Využívajú sa prevažne ako orné pôdy (KOBZA, 2004).

V nasledovnej tabuľke 1 sú uvedené základné matematicko-štatistické ukazovatele tmavých pôd SR podľa kritérií INBS.

Tabuľka 1 Základné matematicko-štatistické parametre tmavých pôd SR podľa kritérií INBS

Parametre	X_{\min}	X_{\max}	X	Sd	Vx (%)
Hrúbka A horizontu (cm)	27	140	57	14,90	26
C_{ox} (%)	2,01	9,68	2,66	0,86	32
V (%)	54,34	100	96,65	7,60	8

Vysvetlivky: X_{\min} – minimálna hodnota, X_{\max} – maximálna hodnota, X – aritmetický priemer, Sd – smerodajná odchýlka, Vx – varičný koeficient, C_{ox} – organický uhlík, V – supeň nasýtenia

Hrúbka molických humusových horizontov sa pohybuje pomerne v širokom rozpätí 27 – 140 cm, priemerne 57 cm, čo spĺňa kritérium pre tento ukazovateľ podľa INBS.

Obrázok 5 Tmavé pôdy – černoze kultizemná v modálnom vývoji (Rišňovce)



Variabilný je aj obsah pôdneho organického uhlíka (SOC), ktorý sa pohybuje v rozpätí 2,01 – 9,68 %, čo v prepočte na obsah pôdneho humusu ($\text{SOC} \times 1,724$) predstavuje hodnoty 3,46 – 16,68 %. To len dokumentuje skutočnosť, že určujúcim pôdotvorným procesom pre túto asociáciu tmavých pôd je akumulácia a premeny organických látok vo vlhšom prostredí, čo sa prejavuje najmä pri pôdach čiernicového typu a zvýšeného hydromorfizmu. Tento proces pozorujeme ale aj pri pôdach, ktoré vplyvom vývoja prešli viac do automorfných podmienok a paleohydromorfizmus sa prejavuje len v staršej akumulácii pôdnej organickej hmoty a výskytu fosílnych molických humusových horizontov (KOBZA, 2004) – obrázok 6. V našom prípade na uvedenom obrázku 6 bol vek fosílného humusového horizontu zistený pomocou rádioaktívneho izotopu ^{14}C na cca 7 000 rokov (archív NPPC – VÚPOP).

Obrázok 6 Tmavé pôdy – čiernica kultizemná s fosílnym A horizontom (Žíp)

Vplyvom pôsobenia nepremývneho, čiastočne periodicky premyvneho typu vodného režimu je pre pedogenetický proces tmavých pôd charakteristická pomerne rovnomerná bioakumulácia organických a minerálnych zlúčenín a značnej hĺbke pôdneho profilu (SOTÁKOVÁ, 1982).

Podľa WRB (IUSS 2015) černoze, podobne aj čiernice zväčša radíme do referenčnej pôdnej skupiny Chernozems s chernic horizontom, ktoré sú značne tmavé (Value < 3, Chroma < 3 za vlhka), nasýtené bázami (stupeň nasýtenia > 50 %).

Stupeň nasýtenia našich pôd v zmysle kritérií INBS sa pohybuje v rozpätí 54,34 – 100 %, priemerne sa jedná o pôdy vysoko nasýtené bázami (96,65 %) – Tab. 1. Variabilita nameraných hodnôt stupňa nasýtenia je pomerne nízka (priemerne 8 %).

I keď v rámci kritérií INBS sa neuvádzajú kvalitatívne parametre pôdnej organickej hmoty, tieto sú zvlášť významné. Na základe výsledkov monitoringu pôd SR sú uvedené v tabuľke 2 základné matematicko-štatistické ukazovatele tmavých pôd s molickým humusovým horizontom.

Tabuľka 2 Základné matematicko-štatistické parametre vybraných kvalitatívnych ukazovateľov tmavých pôd SR

Kvalitatívne parametre	X_{\min}	X_{\max}	X	Sd	Vx (%)
N_{tot} (mg.kg ⁻¹)	1541	4140	2281	495,9	22
C/N	8,08	11,57	9,79	0,89	9
$C_{\text{HK}}/C_{\text{FK}}$	0,60	2,75	1,28	0,56	44
Q_6^4	3,59	5,50	4,41	0,52	12

Vysvetlivky: X_{\min} – minimálna hodnota, X_{\max} – maximálna hodnota, X – aritmetický priemer, Sd – smerodajná odchýlka, Vx – variačný koeficient, N_{tot} – celkový dusík, C – uhlík, HK – humínové kyseliny, FK – fulvokyseliny, Q_6^4 – farebný kvocient

Obsah celkového dusíka (N_{tot}) je pomerne variabilný, čo je charakteristická vlastnosť pre všetky pôdne typy (BIELEK, 1998). Podľa kategórií celkových obsahov dusíka (BIELEK, 1998) sa jedná priemerne o stredný obsah dusíka v tmavých pôdach Slovenska. Potvrzuje to aj priemerná hodnota pomeru C/N (9,79). Priemerné hodnoty C/N sú jedným z hlavných ukazovateľov kvality humusu (SOTÁKOVÁ, 1982) a zároveň môžu byť dobrým indikátorom dynamiky pôdnej kvality (FRANZLUEBBERS, 2002). Hodnoty pomeru C/N sú pomerne vyrovnané a pohybujú sa prevažne v rozpätí 8 – 11,5, čo potvrdzuje strednú zásobu dusíka a zodpovedá forme humusu mull (ŠALY, 1978).

Základným kvalitatívnym parametrom je pomer uhlíka humínových kyselín a fulvokyselín ($C_{\text{HK}}/C_{\text{FK}}$). Hodnoty vyššie ako 1 indikujú vyzretú dobre humifikovanú pôdnu organickú hmotu. Priemerná hodnota pomeru $C_{\text{HK}}/C_{\text{FK}}$ tmavých pôd Slovenska dosahuje hodnotu 1,28, i keď na niektorých lokalitách boli i hodnoty tohto pomeru nižšie ako 1. Ide o hodnoty pomerne variabilné, na čo ukazuje aj vypočítaný variačný koeficient (44 %) (Tab. 2). Vyrovnanejšie sú hodnoty farebného kvocientu (Q^4_6) s priemernou hodnotou 4,41, čo je v rámci pôd Slovenska najnižšia priemerná hodnota a čo potvrdzuje vyzretú, dobre humifikovanú pôdnu organickú hmotu (SOTÁKOVÁ, 1982).

ZÁVER

Tmavé pôdy podľa kritérií INBS zaberajú na Slovensku výmeru 93 654,63 ha, čo predstavuje 19,72 % z celkovej výmery všetkých tmavých pôd s molickým humusovým horizontom mapovaných podľa BPEJ a 3,92 % z celkovej výmery poľnohospodárskych pôd Slovenska. V širšom súbore sú totiž zahrnuté tmavé pôdy s hrúbkou humusového molického horizontu menšou ako 25 cm, ako aj asociácie tmavých pôd s akcesorickými pôdami, vyskytujúcimi sa hlavne na okrajových polohách tmavých pôd, ktoré sú mapované v rámci BPEJ.

Tmavé pôdy Slovenska v zmysle kritérií INBS sa vyznačujú značnou mocnosťou molických humusových horizontov (priemerne 57 cm) s priemerným obsahom organického uhlíka 2,66 % a priemerným stupňom nasýtenia 96,65 %.

Významné sú aj kvalitatívne parametre hodnotených tmavých pôd. Obsah celkového dusíka (N_{tot}) je stredný (priemerne 2 281 mg.kg⁻¹), čo potvrdzuje aj priemerný pomer C/N (9,79). Tieto pôdy sú charakteristické vyzretou, dobre humifikovanou pôdnu organickou hmotou (pomer $C_{\text{HK}}/C_{\text{FK}} > 1$) a nízkou hodnotou farebného kvocientu ($Q^4_6 = 4,41$), najnižšou spomedzi všetkých pôd Slovenska (KOBZA a kol., 2014), čo len potvrdzuje kvalitnú pôdnu organickú hmotu tmavých pôd Slovenska s molickým humusovým horizontom.

LITERATÚRA

- BIELEK, P. 1998. *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. Bratislava: VÚPÚ. 256 s. ISBN 80-85361-44-2.
ČURLÍK, J. 1975. *Mineralogické zloženie poľnohospodárskych pôd SSR*. Záverečná správa P 11-529-081-01-03. Bratislava: VÚPVR. 60 s.

- FRANZLUEBBERS, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. In: *Soil Till. Res.*, 66, 2002, pp. 95-106.
- HRAŠKO, J. 1977. Pôdnogeografické regióny. 1:1 500 000. In: *Atlas SSR. International Network of Black Soils*. Dostupné na <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/1-soil-management/internationalnetworkblacksoils/en/>
- IUSS Working Group WRB. 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014*, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. ROME 192 pp. (also available at <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>).
- KOBZA, J. 2004. Contribution on genesis of dark-coloured soils in non-chernozems regions of Slovakia and problem of their classification. *Ved. práce VÚPOP Bratislava*, 26, pp. 151-158. ISBN 80-89128-10-6.
- KOBZA, J. – BARANČÍKOVÁ, G – DODOK, R. – HRIVŇÁKOVÁ, K. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – PAVLENDÁ, P. – SCHLOSSEROVÁ, J. – STYK, J. – ŠIRÁŇ, M. 2014. *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu (2007 – 2012)*. Bratislava: NPPC – VÚPOP, 2014. 252 s. ISBN 978-80-8163-004-0.
- KOLEKTÍV, 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava: Societas pedologica slovacica a NPPC – VÚPOP. 96 s. ISBN 978-80-8163-005-7.
- KOŠŤÁLIK, J. 1974. Charakteristika a stratigrafia fosílnych pôd a spraší Nitrianskej pahorkatiny. *Náuka o Zemi*, VIII. *Pedologica* 9. Bratislava: Veda. 143 s.
- ROY, B., BARDE, N.K. 1962. Some characteristics of the Black Soils of India. *Soil Science*, 93(2):142-147.
- SOTÁKOVÁ, S. 1982. *Organická hmota a úrodnosť pôdy*. Bratislava: Príroda, 1982. 236 s.
- ŠÁLY, R. 1978. *Pôda – základ lesnej produkcie*. Zvolen: VŠLD, 1978. 229 s.
- VAŠKOVSKÝ, I. – HALOUZKA, R. 1976. *Geologická mapa Podunajskej nížiny. Juhovýchodná časť, 1:500 000*. Bratislava: GÚDŠ.
- WEN, D. – LIANG, W. 20001. Soil Fertility Quality and Agricultural Sustainable Development in the Black Soil Region of Northeast China. *Environment, Development and Sustainability*, 3(1):31-43. <https://doi.org/10.1023/A:1011480228613>.
-

VHODNOSŤ PÔDNO-KLIMATICKÝCH PODMIENOK PRE PESTOVANIE BORIEVKY OBYČAJNEJ (*JUNIPERUS COMMUNIS L.*) A JEJ PRIESTOROVÁ DIFERENCIÁCIA V RÁMCI POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔD SLOVENSKA

SUITABILITY OF SOIL-CLIMATIC CONDITIONS FOR THE CULTIVATION OF COMMON JUNIPER (*JUNIPERUS COMMUNIS L.*) AND HER SPATIAL DIFERENTIATION WITHIN THE AGRICULTURAL SOILS OF SLOVAKIA

Eva Pekárová, Michal Sviček, Pavol Bezák

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy,
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e.pekarova@vupop.sk

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá kategorizáciou poľnohospodárskych pôd z hľadiska ich vhodnosti pre účelové pestovanie borievky obyčajnej (*Juniperus communis L.*) na produkciu plodov. Priestorové vymedzenie vhodnosti prostredia vychádza zo systému bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek, ktorý je v podobe geografickej databázy premietnutý v informačnom systéme poľnohospodárskych pôd SR. Pri vypracovaní vhodnosti pestovania borievky obyčajnej sa vychádzalo z analýzy prirodzeného prostredia výskytu borievky a následne boli jej požiadavky zosúladené v rámci špecifikácie poľnohospodárskych pôd. Konkrétne vymedzenie pôdno-klimatických podmienok pre jej pestovanie bolo sústredené najmä na sekundárny pôdny fond, ktorý za predpokladu záujmu spoločnosti je možné použiť pre alternatívne poľnohospodárske využitie. Primárna poľnohospodárska pôda bola zo strategického dôvodu ponechaná pre priame poľnohospodárske využitie. V rámci prezentovanej práce je z pestovateľského hľadiska vypracovaná kategorizácia vybraných pôdno-klimatických podmienok podľa stupňa vhodnosti na lokality veľmi vhodné, vhodné a menej vhodné, ktoré sú prostredníctvom bodového hodnotenia diferencované na jednotlivé kraje Slovenska a zároveň vyjadrené formou účelovej mapy.

Kľúčové slová: pôdno-klimatické podmienky, vhodnosť pestovania, borievka obyčajná

Abstract

The paper deals with the categorization of agricultural land in terms of their suitability for growing juniper (*Juniperus communis L.*) to produce fruit. The spatial definition of environmental suitability is based on a system of land evaluation units, which is represented in the form of a geographic database in the Slovak soil information system. The development of the suitability of the common juniper cultivation was based on an analysis of the natural environment of the juniper occurrence, and consequently its requirements were harmonized within the specification of agricultural land. Specifically, the soil and climatic conditions definition for the juniper cultivation was concentrated mainly on secondary agriculture land, which can be used for alternative agricultural use. Primary agricultural land was due strategic reasons left for direct agricultural use. In the context of presented paper there is developed a categorization of selected soil-climatic conditions according to the degree of suitability for very suitable, appropriate and less suitable localities which are differentiated by point assessment into individual regions of Slovakia and expressed in the form of a purpose map.

Keywords: soil-climatic conditions, suitability for cultivation, common juniper

ÚVOD

Borievka obyčajná (*Juniperus communis L.*) je dvojdómá drevina vyskytujúca sa na Slovensku od najnižších polôh Záhoria až po montánnu stupeň, resp. až po chladné úpätia našich najvyšších pohorí, kde však už stráca na vitalite. Obdobný charakter výskytu v zahraničí dokumentujú viaceré publikácie (napr. ENESCU *et al.*, 2016; EŠNEROVÁ, JANEČEK, 2012, FARJON, FILER, 2013; GARCÍA *et al.*, 2000; THOMAS *et al.*, 2007). V našich podmienkach miernej klímy ide o sekundárne sukcesné štádiá na opustených nelesných plochách, väčšinou na extenzívnych pasienkoch.

Borievka obyčajná sa čoraz častejšie vyskytuje v chránených oblastiach, ťažko prístupných lokalitách a prírodných rezerváciách, čo vylučuje ich využitie za účelom získania plodov. V mnohých prípadoch boli pasienky porastené borievkami z dôvodu nedostatočnej legislatívy zlikvidované samotnými poľnohospodármi v súvislosti s dotačnými príspevkami. Vzhľadom na uvedené je podstatné zdôrazniť, že borievka obyčajná sa doteraz nenachádza v „Zozname druhov lesných drevín“ (príloha č. 1 zák. č. 138/2010 o lesnom reprodukčnom materiáli), ani v Nariadení vlády SR č. 221/2016 Z.z. (účinnosť od 1. 1. 2017), ktorým sa ustanovujú požiadavky na uvádzanie množiteľského materiálu ovocných drevín a ovocných drevín určených na výrobu ovocia na trh (príloha č. 4, Zoznam rodov a druhov uvedeného nariadenia).

V rámci pôdných vlastností môžeme konštatovať, že ich výskyt je nielen na kyslých, ale aj na karbonátových pôdach, relatívne chudobných na živiny. Vzhľadom na rôznorodý habitus, vertikálny rast a vysoké nároky na svetlo však borievky nedokážu vytvoriť úplne súvislé porasty. Borievka sa dokáže šíriť v priebehu pastvy do nízkych a pastvou jemne narušených trávnych porastov, ale v dôsledku súčasnej degradácie stanovišť trvalých trávnych porastov spôsobenej výrazným poklesom polygastrických zvierat a následnému pustnutiu krajiny, dochádza k jej

postupnému znižovaniu až zániku. A to aj z niektorých lokalít, ktoré boli ešte v 90. rokoch nazývané lokalitami hromadného výskytu borievok.

Narastajúci záujem trhu o borievku obyčajnú a výraznejší dopyt po produktoch zo spracovania jej plodov v potravinárskom, farmaceutickom, liehovarníckom, či kozmetickom priemysle vytvára potrebu hľadania nových, nielen ochranných, ale aj pestovateľských možností, ktoré by riešili nedostatočnú domácu surovinovú základňu z existujúcich prírodných zdrojov.

Základným predpokladom úspešného pestovania borievky obyčajnej na produkciu plodov je zosúladenie požiadaviek základného druhu (*Juniperus communis* L.) s podmienkami prostredia. Kým niektoré parametre pôd možno v rámci produkčného pestovania do určitej miery korigovať, orografické a klimatické podmienky je treba rešpektovať a prispôbiť sa im.

MATERIÁL A METÓDY

Vhodnosť poľnohospodárskej pôdy a krajiny pre pestovanie rôznych druhov rastlín je výsledkom komplexného zhodnotenia klimatických, orografických, edafických a biotických faktorov (napr. VILČEK, BEDRNA, 2007; PEKÁROVÁ *et al.*, 2013). Uvedený prístup je využitý aj pri vymedzení vhodných lokalít pre pestovanie borievky obyčajnej v rámci poľnohospodárskej pôdy.

Pri hodnotení vhodnosti stanovišť pre pestovanie borievky sa vychádza z databázy bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek, kód ktorých vyjadruje rôzne kombinácie klímy, pôdy a reliéfu. Pre vyčlenenie pôdno-klimatických regiónov bola použitá Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (DŽATKO, SOBOCKÁ *et al.*, 2009), prostredníctvom ktorej boli vyhodnotené jednotlivé parametre prostredia. Podľa bodového rozpätia bola vytvorená kategorizácia vhodnosti pre jej pestovanie, pričom zvyšujúcim sa bodovým ohodnotením sa zlepšujú pôdno-klimatické podmienky vhodné na pestovanie borievok.

Dôležitou úlohou pri priestorovom zobrazení požadovaných parametrov zohrával „Geografický informačný systém“ (Arc-GIS). Prostredníctvom vektorizovaných hraníc a kódov bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek umožňoval pre každú BPEJ vytvoriť požadovanú údajovú databázu. Konkrétna identifikácia pôdných pomerov vo vzťahu k výskytu a možnému pestovaniu borievky obyčajnej zahŕňovala tak vytvorenie digitálnej vrstvy BPEJ v systéme Arc-Map, verzii 10.4.

Riešenie vhodnosti pôdno-klimatických podmienok pre pestovanie borievky obyčajnej bolo rozdelené do dvoch na seba nadväzujúcich etáp. Prvou etapou bola analýza existujúcich stanovišť s hromadným výskytom borievky obyčajnej s prioritným cieľom zistiť pôdne parametre v jej prirodzených podmienkach výskytu v rámci Slovenska. Podkladom pre stanovenie existujúcich stanovišť bol „Katalóg biotopov Slovenska“ (STANOVÁ, VALACHOVIČ, 2002) a terénny prieskum v rokoch 2015 – 2017. Nápomocná bola aj „Metodika stanovenia území s vysokou prírodnou hodnotou v poľnohospodárstve a lesnom hospodárstve SR“ (MPRV SR, 2014). Nevyhnutným predpokladom riešenia tejto etapy, t.j. priestorovej analýzy pôdno-klimatických pomerov bolo vytvorenie aktívnej vrstvy mapy územia SR, kde jedna vrstva predstavovala lokality výskytu borievky vrátane ich porastov v sukcesných štádiách a druhá vrstva mapu pôdných

vlastností. Prekrytím vrstiev sa získalo presné rozmiestnenie BPEJ na jednotlivých vyznačených plochách a následne pomocou atribútovej tabuľky sa zistilo zastúpenie BPEJ.

Druhou etapou riešenia bolo vymedzenie pôdno-klimatických podmienok pre jej pestovanie s prihliadnutím na primárnu poľnohospodársku pôdu, ktorú je zo strategického účelu potrebné ponechať pre priame poľnohospodárske využitie. Z uvedeného dôvodu bol pre výber vhodných lokalít zvolený predovšetkým sekundárny pôdny fond, ktorý je za predpokladu záujmu spoločnosti možné použiť na iné ako potravné účely, pričom takýmto využívaním nedôjde k jeho znehodnoteniu. Inak povedané, je možné ho využívať pre alternatívne poľnohospodárske využitie. V rámci druhej etapy boli na základe jednotlivých kódov BPEJ vybrané najvhodnejšie pôdno-klimatické parametre v rámci poľnohospodárskych pôd vyplývajúce z analýzy výskytu borievok prvej etapy riešenia.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky analýz existujúcich stanovišť borievky obyčajnej (prvá etapa riešenia)

Z doterajšieho mapovania a hodnotenia výskytu borievok v rámci celého Slovenska vyplývajú viaceré poznatky a zistenia. Predovšetkým sa nachádza vo veľmi chladných klimatických regiónoch (29,8 %), mierne chladných a zároveň v mierne vlhkých klimatických regiónoch (21,0 %) ale aj v mierne teplých regiónoch (16,1 %) Slovenska. V rámci identifikácie pôdnych vlastností je najrozsiahlejší výskyt borievky obyčajnej na pôdach hlinitých, stredne ťažkých (59,4 %) a piesočnato-hlinitých (18,3 %), v rámci pôdnych typov sú to predovšetkým kambizeme (36,5 %) a rendziny (18,5 %). V rámci ostatných, ale zároveň významných parametrov pre jej pestovanie možno konštatovať, že sa nachádzajú v prevažnej miere na juhovýchodnej expozícií, pričom lokality ich výskytu sú so sklonom od 3° až do 25°. Výsledky identifikácie pôdno-klimatických pomerov výskytu borievky obyčajnej na Slovensku uvádzajú tabuľky 1 až 6.

Tabuľka 1 Identifikácia klimatických pomerov výskytu borievky obyčajnej v rámci hodnotenia poľnohospodárskych pôd Slovenska

Charakteristika klimatického regiónu	Kód regiónu	TS ≥ 10°C	t _d ≥ °C (dni)	k VI-VIII (mm)	T veget. (°C)	Súčet v ha	%
Veľmi chladný, vlhký	10	< 1800	182	< 50	10 – 11	11 593,4	29,84
Mierne chladný, mierne vlhký	08	2200 – 2000	208	100 – 0	12 – 14	8 193,2	21,09
Mierne teplý, mierne vlhký	07	2500 – 2200	215	100 – 0	13 – 15	6 291,2	16,19
Chladný, vlhký	09	2000 – 1800	202	60 – 50	12 – 13	5 153,0	13,26
Pomerne teplý, suchý	05	2800 – 2500	222	150 – 100	14 – 15	3 522,1	9,06
Dostatočne suchý, teplý	02	2800 – 2500	231	150 – 100	15 – 16	2 396,1	6,16
Teplý, veľmi suchý, kotlinový	04	3030 – 2800	229	200 – 100	15 – 16	1 290,5	3,32
Teplý, veľmi suchý, nížinný	01	3000 – 2800	237	200 – 150	15 – 17	206,7	0,53
Pomerne teplý, mierne suchý	06	2800 – 2500	224	100 – 50	14 – 15	201,5	0,51
Teplý, veľmi suchý	03	3160 – 2800	232	200 – 150	15 – 17	0,3	0,00

Tabuľka 2 Identifikácia pôdnych typov výskytu borievky obyčajnej v rámci hodnotenia poľnohospodárskych pôd Slovenska

Pôdny typ a subtyp	Signatúra	Súčet v ha	%
Kambizeme	KM	14 186,0	36,51
Rendziny	RA	7 214,8	18,57
Kambizeme pseudoglejové	KMag	3 211,2	8,26
Kambizeme luvizemné	KMal	2 243,4	5,77
Pseudogleje	PG	1 927,4	4,96
Rendziny kambizemné	RAak	1 686,5	4,34
Regozeme	RM	1 546,3	3,98
Pôdy na zrúchoch	(nad 25°)	1 505,5	3,87
Fluvizeme glejové	FMa _G	821,0	2,11
Luvizeme pseudoglejové	LMg	730,1	1,87
Fluvizeme	FM	710,4	1,82
Kambizeme glejové	KMa _G	498,6	1,28
Hnedozeme erodované	HMm ^e	470,2	1,21
Gleje	GL	386,3	0,99
Hnedozeme pseudoglejové	HMag	368,4	0,94
Litozeme a rankre	Llm, RNm	328,2	0,84
Fluvizeme karbonátové	FMa ^c	271,2	0,69
Čiernice glejové	ČAa _G	230,5	0,59
Hnedozeme luvizemné	HMal	221,0	0,56
Hnedozeme	HM	175,1	0,45
Organozeme	OM	59,1	0,15
Čiernice	ČA	56,3	0,14

Tabuľka 3 Identifikácia pôdnych druhov lokalít výskytu borievky obyčajnej v rámci hodnotenia poľnohospodárskych pôd Slovenska

Zrornosť pôd	Kód zrornosti	charakteristika	Súčet v ha	%
Stredne ťažké pôdy	2	hlinité	23077,9	59,40
Stredne ťažké pôdy – ľahšie	5	piesočnato-hlinité	7110,8	18,30
Ťažké pôdy	3	ílovito-hlinité	6256,2	16,10
Ľahké pôdy	1	piesočnaté a hlinito-piesočnaté	2392,2	6,15
Veľmi ťažké pôdy	4	ílovité a íly	11,2	0,02

Tabuľka 4 Identifikácia skeletnatosti a hĺbky pôdy lokalít výskytu borievky obyčajnej v rámci hodnotenia poľnohospodárskych pôd Slovenska

Skeletnatosť	Kód skeletnatosti	hĺbka pôdy	Kód hĺbky	Súčet v ha	%
Stredne skeletnaté	2	plytké – stredne hlboké	2, 1	11 326,0	29,15
Stredne skeletnaté	2	plytké	2	6 570,4	16,91
Bez skeletu	0	hlboké	0	5 219,2	13,43
Stredne skeletnaté	2	stredne hlboké	1	4 854,7	12,49
Bez skeletu – slabo skeletnaté	0, 1	stredne hlboké – hlboké	1, 0	3 592,1	9,24
Bez skeletu – slabo skeletnaté	0, 1	plytké	2	2 885,8	7,42
Slabo skeletnaté	1	stredne hlboké	1	2 056,7	5,29
Neidentifikované	–	–	–	1 505,5	3,87
Stredne skeletnaté	2	hlboké	0	837,8	2,15

Tabuľka 5 Identifikácia stanovištných pomerov výskytu borievky obyčajnej v rámci hodnotenia poľnohospodárskych pôd Slovenska

Svahovitosť	Kód svahovitosti	charakteristika	expozícia	Kód expozície	Súčet v ha	%
7°–12°	3	stredný svah	juhovýchod	1, 2	9899,0	25,48
3°–7°	2	mierny svah	juhovýchod	1, 2	7671,2	19,74
17°–25°	5	príkry svah	–	–	6694,5	17,23
12°–17°	4	výrazný svah	juhovýchod	1, 2	6649,9	17,11
0°–3°	0, 1	rovina	západná	2	3747,8	9,64
12°–17°	4	výrazný svah	severná	3	1390,0	3,57
7°–12°	3	stredný svah	severná	3	1272,3	3,27
nad 25°	6	zráz	–	–	982,9	2,53
3°–7°	2	mierny svah	severná	3	494,3	1,27
3°–7°	2	mierny svah	západná	2	46,3	0,11

Tabuľka 6 Porovnanie výmery primárnej a sekundárnej poľnohospodárskej pôdy s výmerou výskytu borievky obyčajnej (*Juniperus communis* L.) v rámci krajov SR

Kraj	Rozloha primárnej poľnohospodárskej pôdy		Rozloha sekundárnej poľnohospodárskej pôdy		Rozloha výskytu borievok z PPF	
	Výmera v ha	% z PPF	Výmera v ha	% z PPF	Výmera v ha	% z PPF
Banskobystrický	175 704	42	157 417	38	23 064	21,7
Bratislavský	79 727	84	5 493	6	0	0,0
Košický	206 324	61	81 926	24	1 872	1,7
Nitriansky	423 489	90	18 779	4	72	0,0
Prešovský	100 842	26	196 645	51	315	0,2
Trenčiansky	88 334	47	63 754	34	50 815	47,8
Trnavský	263 458	90	17 431	6	0	0,0
Žilinský	29 976	12	154 593	63	30 066	28,3
Spolu	1 367 854	57,2	696 038	29,1	106 204	4,4

Vymedzenie vhodných pôdno-klimatických podmienok na pestovanie borievky obyčajnej (druhá etapa riešenia)

Na základe výsledkov analýz z existujúcich stanovišť borievky obyčajnej cieľom druhej etapy riešenia bolo vymedzenie vhodných pôdno-klimatických podmienok pre jej pestovanie.

Ako prvý parameter bol vybraný z BPEJ klimatický región, z ktorého pre borievky boli vybrané charakteristiky veľmi vhodného a vhodného pestovania od veľmi chladného, chladného, mierne chladného (10,09,08) regiónu až po mierne teplý a mierne vlhký región (07). Ako menej vhodný bol vybraný klimatický región pomerne teplý, mierne suchý, kotlinový (05) a mierne suchý, vrchovinový (06), nakoľko v týchto regiónoch trpia borievky výrazným presychaním vnútornej časti kra, čím dochádza k predčasnému odumieraní tejto dreviny. Teplé, veľmi suché, nížinné klimatické regióny (00, 01, 02, 03, 04) sú z hľadiska pestovania borievok klasifikované ako nevhodné.

Ďalšími ukazovateľmi v rámci vhodnosti pestovania boli účelovo vybrané pôdne parametre, optimálne kódy svahovitosti, expozície, skeletnatosti a hĺbky pôdneho profilu. Keďže borievky nemajú vysoké nároky na kvalitu pôd, boli ich požiadavky adekvátne premietnuté aj pri výbere pôdnych parametrov. Najvhodnejšími pre ich pestovanie sa javia stredne ťažké pôdy (hlinité) a pôdy ľahšie (piesočnato-hlinité), menej vhodné sú ílovito-hlinité. Pôdny typ nepatrí medzi rozhodujúci parameter, ktorý by ovplyvnil úrodnosť borievok. Ideálne na účelové pestovanie sa javia hnedozeme, na ktorých boli zaznamenané najväčšie jednorocné prírastky, ale vhodné sú aj kambizeme, prípadne rendziny. Ideálne podmienky pre ich pestovanie v rámci svahovitosti a expozície je juhovýchod so sklonom pozemku od 3° do 12°, nakoľko väčší sklon by bol problematický v rámci prístupu mechanizmov, údržby pozemku a taktiež zberu. Slabo skeletnaté pôdy nie sú prekážkou, ale podmienkou sú stredne hlboké pôdy nad 30 cm.

Na základe uvedeného prístupu bola vymedzená vhodnosť podmienok pestovania borievky obyčajnej v rámci poľnohospodárskych pôd SR. Výber stanovištných podmienok bol

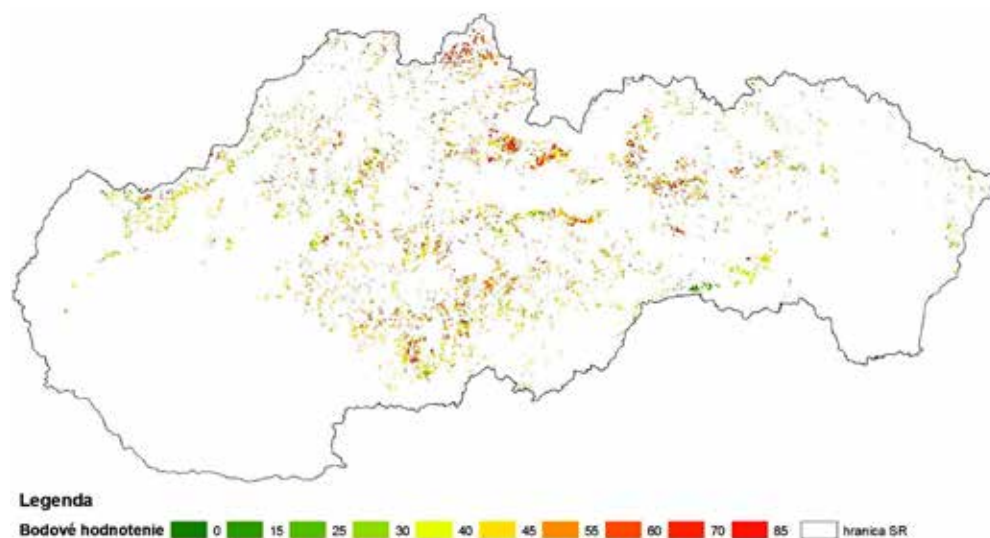
zameraný na vhodné podmienky, ktoré vytvárajú základný predpoklad pre dosiahnutie produkcie plodov v požadovanej kvalite a dosiahnutí rentability pestovania.

Vzhľadom na rôznorodosť pôdno-klimatických podmienok i značnú geomorfologickú heterogenitu majú rôzne regióny Slovenska rôznu mieru vhodnosti na pestovanie borievky (obrázok 1). Z pohľadu vhodnosti pestovania borievky obyčajnej je možné konštatovať, že najperspektívnejším krajom sa javí Banskobystrický kraj (50 913 ha), ďalej nasleduje Žilinský kraj (35 602 ha), Trenčiansky kraj (19 637 ha) a Prešovský kraj (19 574 ha). Vypracovaná výmera vhodnosti pestovania pre borievku obyčajnú deklaruje vyššiu výmeru ako je jej rozloha prirodzeného výskytu (4,4 %), čo v rámci celkového poľnohospodárskeho pôdneho fondu v SR predstavuje 141 494 ha, t.j. 5,9% výmery (tabuľka 7).

Tabuľka 7 Špecifikácia vhodnosti poľnohospodárskej pôdy pre pestovanie borievky obyčajnej (*Juniperus communis L.*) v rámci krajov SR

Kraj	Menej vhodné pôdy v ha	Vhodné pôdy v ha	Veľmi vhodné pôdy v ha	Výmera v ha spolu	% z PPF
Banskobystrický	9 316	24 805	16 792	50 913	2,1
Bratislavský	78	223	0	301	0,0
Košický	3 314	5 949	2 953	12 216	0,5
Nitriansky	285	1 075	123	1 483	0,0
Prešovský	4 598	6 669	8 307	19 574	0,8
Trenčiansky	5 686	10 593	3 358	19 637	0,8
Trnavský	702	1 066	0	1 768	0,0
Žilinský	4649	11 919	19 034	35 602	1,4
Spolu	28 628	62 299	50 567	141 494	5,9

Obrázok 1 Vhodnosť pôdno-klimatických podmienok pre pestovanie borievky obyčajnej (*Juniperus communis L.*)



ZÁVER

Vypracovanie kategorizácie vhodnosti pestovania borievok a priestorové vyjadrenie formou účelovej mapy môže prispieť k optimalizácii rozhodovacích procesov a efektívnejšiemu využívaniu pôdneho fondu v SR. Obnova pôvodných biotopov a stanovišť výskytu borievky je síce jednou z možností udržania výskytu borievok, ale z hľadiska zvyšujúcich sa environmentálnych opatrení v rámci ochrany životného prostredia nie je táto cesta perspektívnou pre získavanie jej plodov.

Efektívnejšou a zároveň reálnejšou cestou pre zabezpečenie domáceho dopytu po jej plodoch je účelové pestovanie tejto dreviny na pozemkoch poľnohospodárskej alebo odlesnenej pôdy, resp. ostatnej pôdy, ktorá je v súčasnosti v rôznych štádiách sukcesie.

V súvislosti s vypracovaním podnikateľských zámerov je potrebné v tejto súvislosti zdôrazniť, že pestovanie borievky obyčajnej si žiada väčšiu popularizáciu a podporu osobitných dotačných prostriedkov so zameraním na podporu veľkoplôšného a zároveň ekologického pestovania. Hoci stanovištné podmienky na Slovensku umožňujú rozšírenie pestovania borievky na produkciu plodov, k faktorom, ktoré rozhodujú o ich pestovaní patrí aj technológia zberu, vrátane pozberovej úpravy a samozrejme poznanie možností dodávateľsko-odberateľských vzťahov.

Podakovanie

Príspevok bol spracovaný vďaka podpore projektu APVV-14-0843 „Výskum možnosti pestovania borievky (*Juniperus communis* L.) na produkciu plodov“.

LITERATÚRA

- DŽATKO, M. – SOBOCKÁ J. a kol. 2009. *Príručka pre používanie máp bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek. Inovovaná príručka pre bonitáciu a hodnotenie poľnohospodárskych pôd Slovenska*. Bratislava: VÚPOP, 102 s. – ISBN 978-80-89128-55-6.
- ENESCU, C.M. – HOUSTON DURANT, T. – CAUDULLO, G. – DERIGO, D. 2016. *Juniperus communis in Europe: distribution, habitat, usage and threats*. In San-Miguel-Ayanz, J. – DeRigo, D. – Caudullo, G. – Houston Durant, T. – Mauri, A (eds.), *European atlas of forest tree species*. Luxembourg: Publication Office of EU, p. e01d2de+ ISBN 978-92-79-36740-3.
- EŠNEROVÁ, J. – JANEČEK, V. 2012. *Jalovec obecný (Juniperus communis L.)*. Lesnícke práce 4/12, ročník 91.
- FARJON, A. – FILER, D. 2013. *An atlas of the world's conifers: An analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status*. Leiden – Boston: BRILL, 512 p. ISBN 978-90-04-21180-3.
- GARCÍA, D. – ZAMORA, R. – GÓMEZ, J.M. – JORDANO, P. – HÓDAR, J.A. 2000. Geographical variation in seed production, predation and abortion in *Juniperus communis* throughout its range in Europe. *Journal of Ecology* 88, p. 436 – 446.
- MINISTERSTVO PŮDOHOSPODÁRSTVA A ROZVOJA VIDIEKA SR. 2014. *Metodika stanovenia území s vysokou prírodnou hodnotou v poľnohospodárstve a v lesnom hospodárstve – kategórie HNV*. Program rozvoja vidieka SR 2014 – 2020, 31 s.
- PEKÁROVÁ, E. – HANISKO, Ľ. – KOVÁČIKOVÁ, I. 2013. *Vhodnosť pôdno-ekologických podmienok pre pestovanie jadrového ovocia a ich priestorová diferenciácia v rámci poľnohospodárskych pôd Slovenska*. In HOUŠKOVÁ, B. (ed.), *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy č. 35*. Bratislava: VÚPOP, s. 135 – 144. ISBN 978-80-8163-003-3.

- STANOVÁ, V. – VALACHOVIČ, M. – (eds.) 2002. Katalóg biotopov Slovenska. DAPHNE, Inštitút aplikovanej ekológie, Bratislava, 225 s. – ISBN 80 – 89133.00 – 2.
- THOMAS, P.A. – BARGHATHI, E. – POLWART, A. 2007. *Biological flora of the British isles: Juniperus communis L.* Journal of Ecology 95, p. 1404 – 1440. doi: 10.1111/j.1365 – 2745.2007.01308.x
- VILČEK, J. – BEDRNA, Z. 2007. *Vhodnosť poľnohospodárskych pŔd a krajiny Slovenska na pestovanie rastlín.* Bratislava: VŔPOP, 248 s. ISBN 978 – 80-89128 – 36-5.
-

POROVNANIE MORFOGENETICKÉHO KLASIFIKAČNÉHO SYSTÉMU PÔD SLOVENSKA (2014) A SVETOVEJ REFERENČNEJ BÁZY PRE PÔDNE ZDROJE (2015)

CORRELATION BETWEEN MORPHOGENETIC SOIL CLASSIFICATION SYSTEM OF SLOVAKIA (2014) AND WORLD REFERENCE BASE FOR SOIL RESOURCES (2015)

Martin Saksa, Emil Fulajtár

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e-mail: m.saksa@vupop.sk*

Abstrakt

Vzhľadom na veľkú regionálnu variabilitu pôdneho krytu je v pôdozvedectve bežným javom využívanie národných klasifikácií pôd. To spôsobuje problémy v medzinárodnej spolupráci, ktoré sú čoraz častejšie kvôli intenzívnejšiemu zapájaniu sa výskumných tímov do medzinárodných projektov. V súčasnosti platnou a uznávanou medzinárodnou klasifikáciou pôd je Svetová referenčná báza pre pôdne zdroje – WRB (2015). Na Slovensku slúži ako národná pôdozvedecská klasifikácia Morfo genetický klasifikačný systém pôd Slovenska – MKSP (2014). Základným cieľom tohto príspevku je porovnanie týchto dvoch systémov klasifikácie pôd. Jeho výsledkom je komparačná tabuľka, ktorá navrhuje pre pôdne taxonomické jednotky MKSP vhodné, resp. porovnateľné ekvivalenty WRB. Predložený návrh môže pomôcť slovenským pôdozvedcom aspoň približne transformovať informácie o klasifikácii pôd v MKSP do WRB a prípadne ich inšpirovať k podrobnejšiemu rozpracovaniu klasifikačnej konverzie.

Kľúčové slová: MKSP, WRB, referenčné pôdne skupiny, kvalifikátory, pôdne typy

Abstract

Due to the huge spatial variability of the soil cover, the use of national soil classifications is a common approach in soil science. The problems that this poses in international cooperation are becoming more and more frequent due to the growing involvement of research teams in international projects. World Reference Base for Soil Resources – WRB (2015) is currently officially international recommended world soil classification. In Slovakia, the Morphogenetic Soil Classification System of Slovakia (MSCS (2014), in Slovak MKSP (2014)) has been used as a national soil classification. Correlation of these two soil classification systems is the primary

objective of this paper. The result of a correlation of these systems represents the comparative table which proposes suitable respectively comparable WRB equivalents for taxonomic units of MSCS. The presented proposal can support Slovak soil scientists at least roughly transform information of the MSCS into the WRB and possibly inspire them to elaborate classification conversion in more detail.

Keywords: MSCS, WRB, reference soil group, qualifiers, soil types

ÚVOD

Pedológia je relatívne mladou vednou disciplínou a ako súčasť modernej vedy sa etablovala až v druhej polovici 19. storočia. Prvotné koncepty klasifikácie pôd boli založené na geologickom a agronomickom prístupe. Prvý pokus klasifikácie pôd založenej na klimatickej a vegetačnej zonálnosti bol prezentovaný DOKUČAJEVOM (1886). Tento prístup k pôdnej klasifikácii je nazývaný ako „genetický“ a bol rozšírený do sveta v prvých dekádach 20. storočia. Ďalším míľnikom v rozvoji klasifikácie pôd bol „kvantitatívny, metrický“ prístup iniciovaný v roku 1949 a dokončený v roku 1960 v Spojených štátoch amerických (SOIL SURVEY STAFF, 1960).

Vzhľadom na veľkú regionálnu variabilitu pôdneho krytu je v pôdoznanectve a pedogeografii bežným javom využívanie národných klasifikácií pôd. To platí najmä pre krajiny v Európe, ktoré sa vyznačujú na jednej strane dlhodobým a samostatným vývojom pedológie, množstvom nazhromaždených údajov a vyzretým systémom národných klasifikácií. Na druhej strane štáty s menšou rozlohou sú limitované jednostrannosťou, či regionálnymi aspektmi národných klasifikácií. Preto pre pôdoznalecké výskumné tímy často vznikajú problémy pri zapájaní sa do medzinárodnej spolupráce v oblasti klasifikácie a mapovania taxonomických jednotiek.

V súčasnosti platnou a uznávanou medzinárodnou klasifikáciou pôd je Svetová referenčná báza pre pôdne zdroje – WRB (2015) (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015). Na Slovensku slúži ako národná pôdoznalecká klasifikácia Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska – MKSP (2014) (SPS, 2014).

Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska je výsledkom dlhodobého vývoja, ktorý sa začal uplatnením princípov ruskej klasifikačnej školy, obohatených o niektoré anglo-saské koncepty, hodnotiace niektoré špecifiká stredoeurópskych, klimatických a pedogeografických podmienok Československa (NOVÁK, 1926), pričom od 30. rokov sa začala rozvíjať aj slovenská klasifikačná škola, zameraná len na regionálne územie Slovenska (KYNTERA, 1937; KOŽUCH, 1951; HROŠSO, 1958; MALÁČ, 1962). Najvýznamnejším míľnikom jej vývoja však boli 60. roky minulého storočia, kedy sa pre potreby Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd (KPP) bývalého Československa (NĚMEČEK *et al.*, 1967; HRAŠKO a BEDRNA, 1970) vytvorila Geneticko-agronomická klasifikácia pôd ČSSR (NĚMEČEK *et al.*, 1966), ako teoretický základ mapovania pôd. Geneticko-agronomická klasifikácia spočívala na genetickom základe a súčasne odrážala agronomicky dôležité znaky a vlastnosti pôd. Táto klasifikácia však bola zameraná len na poľnohospodárske pôdy. V lesníckej pedológii sa používala metodika a systematika podľa PELÍŠKA (1937). V ďalších rokoch existovala určitá nejednotnosť v používaní jednotlivých systémov klasifikácie pôd, a to

až do polovice 80. rokov 20. storočia, kedy sa v roku 1985 schválil Morfogenetický klasifikačný systém pôd ČSFR, ako oficiálny a referenčný klasifikačný systém pôd ČSFR, ktorý zjednotil prístup ku klasifikácii poľnohospodárskych a lesných pôd. V roku 1991 bol systém doplnený o klasifikáciu antropogénnych pôd. Prvý variant oficiálne vyšiel v roku 1987 (HRAŠKO *et al.*, 1987), druhé doplnené vydanie vyšlo v roku 1991 (HRAŠKO *et al.*, 1991). Po vzniku samostatnej Slovenskej republiky sa v roku 2000 vypracoval Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska (Bazálna referenčná taxonómia) (ŠALY *et al.*, 2000). Jeho druhé upravené vydanie vyšlo v roku 2014 pod hlavičkou Societas pedologica slovacica (SPS, 2014) ako MKSP (2014).

Prvá oficiálna verzia Svetovej referenčnej bázy pre pôdne zdroje (WRB) bola prezentovaná na 16. svetovom pôdoznaleckom kongrese vo francúzskom Montpellier v roku 1998 (FAO, 1998). ISSS (*International Society of Soil Sciences*) schválila WRB ako jej oficiálne odporúčanú terminológiu pre nomenklatúru a klasifikáciu pôd sveta. Po ôsmich rokoch intenzívneho celosvetového testovania a zbere údajov sa vydala druhá edícia WRB 2006 (IUSS WORKING GROUP WRB, 2006) a jej prvá aktualizácia v roku 2007 (IUSS WORKING GROUP WRB, 2007). V roku 2012 bola táto prvýkrát (a zatiaľ aj posledný) preložená do slovenského jazyka (IUSS WORKING GROUP WRB, 2012, preložila Jaroslava Sobocká). Po ďalších ôsmich rokoch organizovania medzinárodných terénnych exkurzií pre koreláciu WRB bola vydaná tretia edícia WRB 2014 (IUSS WORKING GROUP WRB, 2014). V roku 2015 bola vydaná jej aktualizácia (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015) a práve táto je objektom porovnávania s MKSP 2014 v tomto článku (ako WRB 2015).

Vzhľadom na zložitost' a rozdielnosť klasifikačných kritérií oboch porovnávaných klasifikácií si tento príspevok nekladie za cieľ vypracovať úplnú a jednoznačnú schému konverzie MKSP do WRB (čo rozsah článku ani neumožňuje), ale ponúka aspoň približný prehľad prevodu základných taxonomických jednotiek. Prezentovaný návrh umožní slovenským pôdoznancom na určitej úrovni transformovať informácie o klasifikácii pôd v MKSP do WRB, ako aj podnietiť k podrobnejšiemu rozpracovaniu konverzie klasifikačnej schémy. Je založený na porovnaní definícií pôdných vlastností a znakov ako klasifikačných kritérií pôdných jednotiek vyskytujúcich sa v oboch klasifikáciách (skupiny pôd, pôdne typy, subtypy a povinné variety v prípade MKSP a referenčné pôdne skupiny a kvalifikátory v prípade WRB). Riešením kompatibility klasifikácií pôd je možné poukázať na podobnosti a rozdielnosti klasifikačných schém a podporiť ďalší vývoj klasifikačných kritériálnych znakov z hľadiska spracovania a interpretácie databáz o proflovej horizontácii a priestorovej rozmanitosti pôdneho krytu. Porovnanie rôznych klasifikácií evokuje rozvoj základného výskumu v oblasti pôdnej genézy a vplyvu pedogeografických faktorov na vývoj pôd, nakoľko samotná klasifikácia odráža chápanie procesov pedogenézy.

Doposiaľ bolo publikovaných niekoľko prác zaoberajúcimi sa porovnávaním WRB s národnými klasifikáciami pôd jednotlivých krajín. Napríklad to boli práce v Poľsku (CHARZYŃSKI, 2006; KABALA, SWITONIAK, CHARZYŃSKI, 2016), v Českej republike (ZÁDOROVÁ a PEŇÍZEK, 2011), v Lotyšsku (KARKLINS, 2002), v Rumunsku (MUNTEANU a FLOREA, 2002; SECU, PATRICHE, VASILINIUC, 2008), v Chorvátsku (HUSNJAK *et al.*, 2010), či v Brazílii (PALMIERI *et al.*, 2003). Rozšírené porovnanie WRB s niekoľkými národnými klasifikáciami pôd poskytuje KRASILNIKOV (2002). Zaujímavý prístup spočívajúci v kalkulácii taxonomických vzdialeností vybraných typov maďarských pôd a relevantných referenčných pôdných skupín WRB poskytuje LÁNG *et al.* (2013).

Na Slovensku existujú korelácie v každom z vydaných verzií MKSP s príslušnou, toho času, najnovšou verziou WRB. Komparačná tabuľka je uvedená v poslednom vydaní MKSP (2014). Korelácia MKSP a WRB je uvedená aj v Pôdoznaleckom slovníku (JAMBOR *et al.*, 2011). Detailnejším porovnávaním MKSP a WRB sa zaoberal ŠURINA (1997). V rámci skupiny antropogénnych pôd to bola SOBOCKÁ (2008) a SOBOCKÁ *et al.* (2000). Pracuje sa už aj na nových návrhoch (SOBOCKÁ *et al.*, 2017).

MATERIÁL A METÓDY

Vzhľadom na to, že klasifikačný systém MKSP je označovaný ako morfofenetický, koncepcia MKSP je založená na morfológii a genéze pôd. To znamená, že systém je založený na vnútorných vlastnostiach pedonov určených súborom genetických horizontov a ich morfológickými, fyzikálnymi, chemickými, fyzikálno-chemickými a biologickými vlastnosťami. Na najvyššej taxonomickej úrovni je triedenie genetické, na nižších úrovniach sa rešpektujú diagnostické horizonty a znaky (SPS, 2014).

V rámci MKSP (2014) sa v klasifikačnom systéme pôd rozlišujú hierarchické jednotky: skupina, typ, subtyp, varieta, forma, fáza, druh, substrát. Hlavné princípy kategorizácie sú:

- Skupina pôd: Zatriedenie podľa typu hlavného pôdotvorného procesu, identifikácia podľa dominantného diagnostického horizontu,
- Pôdny typ: Kategorizácia a identifikácia podľa sledu diagnostických horizontov, prípadne variet horizontov (dominantné vizuálne morfofenetické znaky). Pri niektorých pôdach aj podľa kombinácie: diagnostický horizont – pôdotvorný substrát (napr. pri rendzine, pararendzine),
- Pôdny subtyp: Kategorizácia a identifikácia podľa príznakov diagnostických horizontov a tých variet diagnostických horizontov, ktoré majú prechodný medzi-typový charakter (znaky). Pri niektorých pôdach došlo k rozlíšeniu podľa iných, významnejších vizuálnych znakov napr. antropických,
- Varieta: Kategorizácia a identifikácia podľa chemických vlastností diagnostických a ďalších horizontov, ktoré sa spravidla zisťujú analyticky, zriedka morfológicky.

Základnou kategóriou pre identifikáciu pôdnej jednotky je pôdny typ. Ďalšia kategorizácia je podľa ostatných špecifických kritérií, čo však neznamená ich významovú sub-dominantnosť voči pôdnemu typu.

Základné princípy, na ktorých je založená WRB (2015) možno zhrnúť do nasledovaných častí:

- Klasifikácia pôd je založená na pôdnych vlastnostiach definovaných z hľadiska diagnostických horizontov, vlastností a materiálov, ktoré by mali byť v čo najväčšej miere merateľné a pozorovateľné v teréne.
 - Výber diagnostických znakov má priamy vzťah k pôdotvorným procesom. Je známe, že poznanie pôdotvorných procesov prispieva k lepšej charakteristike pôd, ale tieto ako také nemôžu byť použité ako diferenciacné kritéria.
-

- WRB je komplexný klasifikačný systém, ktorý umožňuje prispôbiť si ho k národným klasifikačným systémom.
- WRB nemá ambíciu nahrádzať národné klasifikačné systémy, ale slúži skôr ako spoločný menovateľ pre komunikáciu na medzinárodnej úrovni.
- WRB sa skladá z dvoch taxonomických úrovní:
 1. úroveň má 32 referenčných pôdnych skupín (*Reference Soil Groups* - RSG),
 2. úroveň sa skladá z názvov referenčných pôdnych skupín zo súborom hlavných (*principal*) a doplnkových (*supplementary*) kvalifikátorov (*qualifiers*).

Na prvej úrovni sú triedy diferencované hlavne podľa charakteristických pôdnych vlastností, vytvorených primárnymi pedogenetickými procesmi. Na druhej úrovni sú pôdne jednotky diferencované podľa sekundárneho pôdotvorného procesu, ktorý výrazne ovplyvňuje primárne pôdne vlastnosti.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Porovnanie jednotlivých skupín pôd, pôdnych typov, subtypov a povinných variet MKSP (2014) s WRB (2015) je uvedené v Tab. 1. V nasledujúcej časti textu ponúkame detailnejšie vysvetlenie jednotlivých korelácií.

Skupina pôd iníciaľnych

Zahŕňa málo vyvinuté pôdy s iníciaľným pôdotvorným procesom bez ďalších diagnostických horizontov ako sú litozem, regozem, ranker a fluvizem (MKSP, 2014). Vo WRB (2015), ktorý predstavuje dômyselne vytvorený diagnostický kľúč, sú takéto pôdy zaradené na konci zoznamu referenčných pôdnych skupín (RSG), ako pôdy s malou alebo žiadnou diferenciáciou profilu – Cambisols, Arenosols, Fuvisols a Regosols.

Litozeme ako pôdy s hĺbkou do 10 cm bez ďalších diagnostických horizontov (MKSP, 2014) možno priradiť vo WRB (2015) k Lithic Leptosols. Hlavný kvalifikátor *Lithic* znamená – majúci súvislú horninu do 10 cm od povrchu pôdy. Možno použiť aj kvalifikátor *Nudilithic* – majúci súvislú horninu na povrchu pôdy.

Rankre ako pôdy s diagnostickým A horizontom, ktoré majú v podpovrchovom horizonte nad 50 % skeletu (MKSP, 2014), možno vo WRB (2015) priradiť k Hyperskeletal/Skeletal Leptosols, pričom ich umbrizemné, kambizemné, andozemné, organogénne a kultizemné subtypy možno vyjadriť príslušnými hlavnými kvalifikátormi. Kvalifikátor *Skeletal* vyjadruje $\geq 40\%$ skeletu, *Hypeskeletal* má $< 20\%$ jemnozeme. Ranker podzolový však skôr klasifikujeme ako Skeletic Leptic Podzol. Kvalifikátor *Leptic* znamená majúci súvislú horninu do 100 cm od povrchu pôdy.

Regozeme sa chápu ako pôdy bez ďalších diagnostických znakov z nespevnených silikátových až karbonátových sedimentov (MKSP, 2014). Ide najmä o pôdy typické pre oblasti viatych pieskov na Záhorí. Vo WRB (2015) ich možno klasifikovať jednak ako Arenosols, pokiaľ majú piesočnatú alebo hlinito-piesočnatú textúru, alebo ako Regosols, čiže pôdy so slabou vyvinutým profilom. Subtyp regozem umbrizemná možno klasifikovať len ako Umbrisol s dopln-

kovým kvalifikátorom *Arenic*, tzn. majúci textúru hlinitý jemný piesok alebo hrubozrnnejšiu vo vrstve ≥ 30 cm do 100 cm od minerálneho povrchu pôdy.

Fluvizeme sú pôdy s ochrickým Ao horizontom vytvoreným z holocénnych fluviálnych sedimentov (MKSP, 2014) a vo WRB (2015) ich možno klasifikovať ako Fluvisols. Treba si však dávať pozor, pretože Fluvisols sú vo WRB (2015) chápané veľmi úzko a musia mať *fluvic* materiál, so znakmi stratifikácie aspoň v 25 % pôdneho objemu ≤ 25 cm od povrchu pôdy, v prípade prítomnosti ornícového horizontu ≤ 40 cm, v hĺbke ≥ 50 cm od povrchu pôdy. To však mnohé naše fluvizeme nespĺňajú, a tak sú zatriedené medzi Calcisols, ak obsahujú sekundárne karbonáty, ak nie, patria spravidla medzi Regosols. Takisto slaniskové a slancové subtypy fluvizemí musia už byť klasifikované ako Solonchak, resp. Solonetz s pridaným kvalifikátorom *Fluvic*, to znamená majúci *fluvic* materiál. V prípade Solonchak je Fluvic ako hlavný kvalifikátor (uvádza sa pred názvom RSG), v prípade Solonetz je Fluvic ako doplnkový kvalifikátor (uvádza sa v zátvorke za menom RSG).

Skupina pôd rendzinových

Ide o skupinu pôd s humusotvorným pôdotvorným procesom stabilizácie humusu bez ďalších diagnostických horizontov. Patrí sem rendzina a pararendzina (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) takáto referenčná pôdna skupina (RSG) neexistuje. Väčšina rendzín a pararendzín patrí do RSG Leptosols.

Rendziny ako pôdy s molickým diagnostickým Am horizontom zo zvetranín karbonátových hornín, so skeletnosťou obvykle nad 30 % (MKSP, 2014) možno vo WRB 2015 klasifikovať ako Rendzic Skeletic Leptosols. Hlavný kvalifikátor *Rendzic* znamená – majúci *mollic* horizont, ktorý obsahuje, alebo bezprostredne prekrýva *calcaric* materiál obsahujúci viac ako 40 % CaCO_3 . Kvalifikátor *Skeletic* znamená majúci ≥ 40 % skeletu. V prípade subtypu rendzina litozemná použijeme hlavný kvalifikátor *Somerirendzic* – majúci *mollic* horizont < 20 cm, ktorý bezprostredne pokrýva karbonátovú horninu obsahujúcu viac ako 40 % CaCO_3 . Subtyp rendzina umbrizemná možno klasifikovať ako Umbric Leptosol, kde kvalifikátor *Umbric* znamená – majúci *umbric* horizont, ktorý je charakterizovaný ako relatívne hrubý, tmavofarbený povrchový horizont s nízkym nasýtením bázami a stredným až vysokým obsahom organickej hmoty.

Pararendziny sú pôdy s molickým, niekedy až ochrickým A horizontom zo zvetralín pevných karbonátovo-silikátových hornín, so skeletnosťou obvykle pod 30 % (MKSP, 2014). Pokiaľ majú molický horizont, možno ich vo WRB (2015) rovnako ako rendziny klasifikovať ako Rendzic Leptosols, ak však majú „len“ ochrický A horizont označujeme ich ako Leptosols (Ochric). Doplnkový kvalifikátor *Ochric* znamená – majúci $\geq 0,2$ % pôdneho organického uhlíka (vážený priemer) v pôdnej vrstve v hĺbke 10 cm od povrchu a nemá *mollic*, ani *umbric* horizont a nespĺňa kritéria pre kvalifikátor *Humic*. Rovnako ako v prípade rendzín aj pararendzinu umbrizemnú možno klasifikovať ako Umbric Leptosol. V prípade, keď sú pararendziny prevažne zo silikátových hornín treba ich zaradiť do referenčnej skupiny Cambisols. Veľmi široké chápanie *cambic* horizontu pri WRB (2015) je jedným z hlavných rozdielov medzi horizontmi MKSP (2014) a WRB (2015). *Cambic* horizont vo WRB (2015) môže byť aj karbonátový a stačí, aby mal o 5 % menej karbonátov ako C horizont, zatiaľ čo *kambický* horizont MKSP (2014) musí mať nekarbonátový

jemnozēm. Aj subtyp pararendzina kambizemná s príznakmi kambického Bv horizontu za prítomnosti karbonátov klasifikujeme ako Calcaric Leptic Cambisol.

Skupina pôd molických

Molické pôdy sú charakteristické procesom intenzívneho hromadenia a premeny organických látok (humifikácie) v podmienkach nepriesakového až periodicky priesakového vodného režimu. Patrí sem černoziem a čiernica (MKSP, 2014). Medzi pôdy so zvýšenou akumuláciou organickej hmoty v povrchovej časti patria vo WRB (2015): Chernozems, Kastanozems, Phaeozems a Umbrisols, ktoré sú v rámci MKSP (2014) samostatnou skupinou pôd.

Černozieme sú pôdy s molickým karbonátovým alebo silikátovým diagnostickým Am horizontom o hrúbke 30 cm a viac z prevažne eolických a aluviálnych sedimentov (MKSP, 2014). Základným diagnostickým kritériom pre Chernozems vo WRB (2015) je prítomnosť *chernic* horizontu, ktorý je ešte tmavší (value ≤ 3 , chroma ≤ 2 za vlhka) a štruktúrovanejší než *mollic* horizont (value ≤ 3 , chroma ≤ 2 za vlhka). Takisto je dôležitá prítomnosť sekundárnych karbonátov. Ak pôdy spĺňajú kritéria pre *chernic* horizont a obsahujú sekundárne karbonáty ≤ 50 cm od povrchu, možno ich klasifikovať ako Chernozems. Pokiaľ majú sekundárne karbonáty, ale v hĺbke väčšej ako 100 cm klasifikujeme ich ako Phaeozems s doplnkovým kvalifikátorom *Bathycalcic*.

Pokiaľ majú pôdy sekundárne karbonáty, ale nespĺňajú kritéria pre *chernic* horizont, ale len pre *mollic* horizont, musia sa už klasifikovať ako Kastanozems. To je však v rozpore s tradičným chápaním v našom pôdoznanectve, kde gaštanové pôdy predstavujú zonálne pôdy nízko trávnych stepí až polopúští.

Rozlíšenie referenčných pôdnych skupín Chernozems a Kastanozems vo WRB (2015) je založené predovšetkým na farebnej odlišnosti humusového horizontu s veľmi úzkou škálou rozlíšenia. V zmysle tohto, ak vezmeme do úvahy rozlišujúce znaky, veľká väčšina našich černozemí bude zaradená medzi Kastanozems. Pôvodná koncepcia odlišenia týchto dvoch referenčných pôdnych skupín pokladala za kľúčový znak predovšetkým rozdielny vodný režim, ktorý v súčasnosti vo WRB (2015) vôbec neberie do úvahy. Podľa staršej verzie WRB z roku 2006 (IUSS WORKING GROUP WRB, 2006) patrili referenčné pôdne skupiny Chernozems, Kastanozems a Phaeozems patrili medzi pôdy s akumuláciou organickej hmoty a vysokým nasýtením bázami, pričom Chernozems sú typicky molické pôdy, Kastanozems s prechodom do suchšej klímy a Phaeozems s prechodom do humidnejšej klímy. Zaradenie našich černozemí do RSG Kastanozems podľa WRB (2015) z týchto dôvodov pokladáme za pomerne nezvyčajné.

Slaniskové a slancové subtypy černozemí klasifikujeme ako Chernic/Mollic Solonchaks, resp. Chernic/Mollic Solonetz, alebo ako Chernozem (Sodic).

Čiernice sú pôdy s molickým čiernicovým diagnostickým Amč horizontom a glejovým G horizontom (MKSP, 2014). Pokiaľ spĺňajú kritéria pre *chernic* horizont a obsahujú sekundárne karbonáty ≤ 50 cm, možno ich klasifikovať ako Fluvic Gleyic Chernozem. Hlavný kvalifikátor *Gleyic* vyjadruje – majúci vrstvu ≥ 25 cm hrubú a začínajúcu ≤ 75 cm od minerálneho povrchu pôdy, ktorá má *gleyic* vlastnosti v celom profile a redukčné podmienky (*reducing conditions*) v niektorých častiach každej spodnej vrstvy. Glejový subtyp možno klasifikovať aj ako Chernic/Mollic Gleysol, pokiaľ majú *gleyic* vlastnosti vo vrstve ≥ 25 cm hrubej a začínajú ≤ 40 cm od povrchu pôdy, organozemný subtyp ako Histic Gleysol, za rovnakých podmienok ako glejový

subtyp. Slaniskový subtyp možno klasifikovať len ako Fluvic Mollic Gleyic Solonchak, slancový subtyp ako Fluvic Gleyic Chernozem (Sodic).

Skupina pôd vertikálnych

Ide o pôdy s vertikálnymi znakmi, s procesom pravidelného premiešavania horizontov, ktorý je výsledkom zmršťovania a napučievania pôdy v dôsledku vysokého obsahu smektitických ílov. Do tejto skupiny patrí smonica, ako pôda s molickým smonicovým diagnostickým Amm horizontom z textúrne ťažkých napučiacich substrátov (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) ich možno zaradiť do referenčnej pôdnej skupiny Vertisols, ktoré sa tvoria v striedajúcich sa podmienkach vlhka a sucha a majú hojný výskyt napučiacich ílov. Pridávame tiež doplnkové kvalifikátory *Chernic*, resp. *Mollic*, podľa spĺňajúcich kritérií.

Skupina pôd umbrických

Ide o pôdy s intenzívnym procesom hromadenia a premeny organických látok v kyslom prostredí. Patrí sem umbrizem, ako pôda s umbrickým diagnostickým Au horizontom (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) patria do referenčnej pôdnej skupiny Umbrisols, ktoré sú zaraďované medzi pôdy so zvýšenou akumuláciou organickej hmoty (*umbric* horizont = kvalifikátor *Umbric*) v povrchovej časti spolu s Chernozems, Kastanozems a Phaeozems. Jednotlivé subtypy uvádzame s príslušnými kvalifikátormi. Umbrizem podzolový možno klasifikovať len ako Umbric Podzol.

Skupina pôd ilimerických

Je skupina pôd s procesom ilimerizácie, t. j. translokácie a akumulácie hlavne koloidných ílovitých častíc v podmienkach priesakového alebo sezónne priesakového režimu. Zaraďujeme sem hnedozem a luvizem. Hnedozeme sú pôdy s iluviálnym luvickým diagnostickým Bt horizontom pod obvykle ochrickým Ao horizontom, luvizeme aj s eluviálnym luvickým diagnostickým El horizontom (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) patria medzi pôdy s ílom obohateným podpovrchovým horizontom – Retisols, Acrisols, Lixisols, Alisols, Luvisols. Tie sú rozčlenené najmä na základe svojich chemických vlastností. Akrisols majú nízke nasýtenie bázami a nízkoaktívny íl, Lixisols vysoké nasýtenie bázami a nízkoaktívny íl, Alisols nízke nasýtenie bázami a vysokoaktívny íl, Luvisols vysoké nasýtenie bázami a vysokoaktívny íl. Najmä v trópech sú časté silne zvetrané a vylúhované typy ilimerických pôd s vysokým obsahom kaolinitu, alebo s nenasýteným sorpčným komplexom. Ilimerické pôdy vyskytujúce sa na Slovensku sú minerálne pomerne bohaté a patria k Luvisols a Alisols. Retisols sú mramorované pôdy s výrazným farebným kontrastom medzi eluviálnym materiálom a o íl obohateným materiálom, na formovaní ktorých sa podieľajú redoximorfne procesy a zodpovedajú podľa MSKP (2014) pseudoglejom, ktoré patria v MKSP (2014) k hygromorfným pôdam (pozri podkapitolu Skupina hygromorfných pôd).

Hnedozeme aj luvizeme teda klasifikujeme vo WRB (2015) ako Luvisols, ktoré majú *argic* horizont ≤ 100 cm od povrchu pôd, čo je podpovrchový horizont so zreteľne zvýšeným obsahom ílu oproti nadložnému horizontu, ktorý má však vzhľadom na obsah ílu menej prísne kritéria ako náš iluviálny luvický Bt horizont. Kritéria nárastu obsahu ílu pre rôzne zrnitostné kategórie a MKSP (2014) vyžaduje vyšší podiel pokrytia pórov ílovými povlakmi – 10% oproti WRB (2015) – 5%. Luvizemiam a hnedozemiam luvizemným pridávame hlavný kvalifikátor *Albic*, tzn. majúci *albic* materiál mocný ≥ 10 cm a začínajúci do 100 cm od minerálneho po-

vrchu pôdy, ktorý zhruba zodpovedá vlastnostiam nášho eluviálneho luvického El horizontu. Pseudoglejovým subtypom pridávame hlavný kvalifikátor *Stagnic*, tzn. majúci vrstvu ≥ 25 cm hrubú a začínajúcu ≤ 75 cm od povrchu pôdy, ktorá má *stagnic* vlastnosti a *reducing conditions* (redukčné podmienky). K luvizemiam pseudoglejovým pridávame aj kvalifikátor *Fragic*, tzn. majúci *fragic* horizont ≤ 100 cm, čo je prirodzene nespevnený podpovrchový horizont s agregátnou a pórovitou štruktúrou, v ktorej korene a presakujúca voda prenikajú do pôdy pozdĺž medzi-pedových plôch a línií. Nenasýtené variety hnedozemí a luvizemí klasifikujeme už ako Alisols, čo je referenčná skupina pôd podobná Luvisolom, ktoré majú nízke nasýtenie bázami (menej ako 50 %).

Skupina pôd kambických

Ide o pôdy s procesom brunifikácie: alterácie, oxidického zvetrávania. Patrí sem kambizem s kambickým diagnostickým Bv horizontom (MKSP, 2014).

Podľa WRB (2015) ich všeobecne môžeme radiť do referenčnej pôdnej skupiny Cambisols, ako pôdy stredne vyvinuté. Umbrizemný sybtyp sa klasifikuje ako Cambic/Brunic Umbrisol. Hlavný kvalifikátor *Cambic* znamená – majúci *cambic* horizont neobsahujúci *albic* materiál a začínajúci ≤ 50 cm od povrchu pôdy. *Cambic* horizont je charakterizovaný ako podpovrchový horizont vykazujúci znaky slabej až relatívne silnej pedogenetickej alterácie (premeny). Hlavný kvalifikátor *Brunic* znamená – majúci vrstvu 15 cm alebo hrubšiu, ktorá spĺňa kritéria *cambic* horizontu ≤ 50 cm od povrchu pôdy, ale nemá textúru piesčitá hlina alebo jemnejšiu, alebo veľmi jemný piesok alebo hlinitý veľmi jemný piesok a neobsahuje *albic* materiál. Luvizemný subtyp klasifikujeme ako Leptic Luvisol, andozemný subtyp ako Vitric alebo Andic Cambisol, pričom hlavné kvalifikátory *Vitric* a *Andic*, znamenajú majúci *andic properties*, resp. *vitric properties* (vlastnosti). Andické vlastnosti sa vytvárajú v dôsledku stredne silného zvetrávania najmä pyroklastických sedimentov. Je pre ne charakteristická prítomnosť RTG-amorfných minerálov a/alebo organo-kovových komplexov. Vitrické vlastnosti sa uplatňujú vo vrstvách s vulkanickým sklom a inými primárnymi minerálmi, pochádzajúcimi zo sopečných výlevov, ktoré obsahujú obmedzené množstvo RTG-amorfných minerálov alebo organo-kovových komplexov.

Skupina pôd andických

Je skupina pôd s andozemným pôdotvorným procesom zo sopečných hornín s výskytom alofánu a nadmernej akumulácie humusu a nízkej objemovej hmotnosti. Patrí sem andozem ako pôda s kambickým andickým diagnostickým Bva horizontom aspoň v časti Bv horizontu a fulvickým, či melanickým A horizontom (MKSP, 2014). Tie vo WRB (2015) korelujú s referenčnou pôdnou skupinou Andosols, čo sú pôdy ovplyvnené komplexmi alofánov a Al-humusu. Jednotlivým subtypom priradujeme príslušné kvalifikátory.

Skupina pôd podzolových

Skupina pôd s procesom podzolizácie, vnútro pôdneho zvetrávania, translokácie a akumulácie seskvioxidov a humusových látok. Patrí sem podzol s diagnostickými horizontmi: eluviálnym podzolovým Ep horizontom nad podzolovým seskvioxidovým Bs horizontom pod ochrickým alebo umbrickým Au humusovo-eluviálnym horizontom (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) korelujú s referenčnou pôdnou skupinou Podzols. Spolu s Andosols patria medzi pôdy ovplyvnené chemickými vlastnosťami Fe/Al. Na rozdiel od našich podzolov nie je podmienkou

prítomnosť eluviálneho podzolového Ep horizontu, ale len *spodic* horizontu ≤ 200 cm od povrchu pôdy, ktorý koreluje s podzolovým Bs horizontom. Ide o podpovrchový horizont obsahujúci illuviálne amorfné látky, zložené z organickej hmoty a Al, alebo z illuviálneho Fe. Z tohto dôvodu pridávame kvalifikátor *Albic*, len v prípade kambizemného subtypu kvalifikátor *Entic*, tzn. majúci sypký *spodic* horizont a nemajúci *albic* materiál. V prípade humusovo-železitého subtypu použijeme tiež kvalifikátor *Rustic*, tzn. majúci *spodic* horizont, v ktorom pomer percenta Fe extrahovaného v kyseline oxalátovej (pH 3) k percentu organického uhlíka je všade 6 alebo viac. Ekvivalenty pre nasýtené a nenásýtené variety podzolov vo WRB (2015) neexistujú.

Skupina pôd hydromorfných

Je skupina pôd s hygromorfným pôdotvorným procesom, prebiehajúcim pod dlhodobým vplyvom zvýšenia pôdnej vlhkosti za nedostatku kyslíka v pôdnej hmote. Patrí sem pseudoglej a glej (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) existuje samostatná referenčná pôdna skupina Gleysols.

Pseudogleje sú pôdy s mramorovaným diagnostickým Bg horizontom (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) ich možno klasifikovať ako Planosols, pokiaľ majú výraznú textúrnú diferenciaciu (*abrupt textural difference*) ≤ 100 cm od minerálneho povrchu pôdy a priamo nad ňou alebo pod ňou je vrstva 5 cm alebo hrubšia, ktorá má *stagnic* vlastnosti a *reducing conditions* (redukčné podmienky), ale aj ako Stagnosols, pokiaľ majú vrstvu ≤ 25 cm od povrchu pôdy, ktorá je ≥ 50 cm hrubá a má *stagnic* vlastnosti a *reducing conditions*, ale aj ako Retisols, pokiaľ majú *argic* horizont ≤ 100 cm od povrchu pôdy a *retic* vlastnosti v jeho vrchnej časti. *Retic* vlastnosti popisujú stopy hrubozrnnejšieho *albic* materiálu v jemnozrnnejšom *argic* horizonte. Pridávame tiež kvalifikátor *Fragic* (pozri vyššie Skupina pôd ilimerických). Kambizemný subtyp klasifikujeme ako Stagnic Fragic Cambisol a stagnoglejový subtyp len ako Fragic Stagnosol.

Gleje sú pôdy s glejovým redukčným diagnostickým Gr horizontom do 50 cm (MKSP, 2014) a vo WRB (2015) ich klasifikujeme ako Gleysols. Glej močiarový klasifikujeme ako Folic Gleysol a glej organozemný ako Histic Gleysol. Kvalifikátor *Folic* znamená – majúci *folic* horizont, čo je povrchový alebo podpovrchový horizont, vyskytujúci sa v plytkej hĺbke, ktorý pozostáva z dobre prevzdušneného *organic* materiálu. Kvalifikátor *Histic* znamená – majúci *histic* horizont, čo je povrchový alebo podpovrchový horizont, ktorý sa vyskytuje v plytkej hĺbke a ktorý obsahuje slabo prevzdušnený *organic* materiál. Oba horizonty majú podobné charakteristiky, avšak *folic* horizont je nasýtený vodou počas menej ako jedného mesiaca v priebehu väčšiny rokov a navyše sa odlišujú v zložení, pretože vegetačný pokryv býva zvyčajne odlišný. K močiarovému a organozemnému subtypu pridávame tiež kvalifikátor *Humic*, tzn. majúci 1 % alebo viac organického uhlíka do hĺbky 50 cm od minerálneho povrchu pôdy, ako vážený priemer vo frakcii jemnozeme.

Skupina pôd organických

Pôdy, ktoré vznikli procesom rašelinenia odumretých rastlinných zvyškov pri dlhodobom nadbytku pôdnej vlhkosti. Patrí sem organozem s diagnostickým rašelinovým Ot horizontom s hrúbkou za vlhka viac ako 30 cm alebo s humolitovým Oh horizontom s hrúbkou za vlhka nad 50 cm, nad glejovým G alebo eluviálnym hygromorfným En horizontom, alebo nad pevnou horninou zamedzujúcou odtok vody (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) ich klasifikujeme ako Histosols – pôdy s hrubými organickými vrstvami. Pseudoglejový subtyp klasifikujeme ako Histic

Planosol a glejový subtyp ako Folic/ Histic Gleysol. K slatinnému subtypu pridávame kvalifikátor *Folic*. Ekvivalent pre kultizemný subtyp organozeme vo WRB (2015) neexistuje.

Skupina pôd salinických

Ide o pôdy so salinickými pôdotvornými procesmi (zasolenie, slancovanie, solodizácia). Patrí sem slanisko, ako pôda so slaniskovým diagnostickým S horizontom a slanec so slanovým diagnostickým Bn horizontom pod humusovo-eluviálnym Aoe horizontom. (MKSP, 2014).

Slanisko klasifikujeme vo WRB (2015) ako Solonchak – pôda s vysokou koncentráciou rozpustných solí a slanec ako Solonetz – pôda s vysokým obsahom výmenného sodíka (Na). Slanisko slanové klasifikujeme ako Sodic Solonchak. Kvalifikátor *Sodic* znamená - majúci vrstvu ≥ 20 cm hrubú a začínajúcu ≤ 100 cm od povrchu pôdy, ktorá má $\geq 15\%$ Na+Mg a $\geq 6\%$ Na vo výmennom komplexe. Slanec solodový klasifikujeme ako Salic Solonetz. Kvalifikátor *Salic* znamená - majúci *salic* horizont ≤ 100 cm od povrchu pôdy. *Salic* horizont je povrchový alebo plytký podpovrchový horizont, ktorý obsahuje sekundárne obohatenie o rýchlo rozpustné soli, t.j. soli rozpustnejšie ako sadra. Ekvivalenty pre kultizemný subtyp a nasýtenú varietu slaniska a kultizemný subtyp a nasýtenú a nenasýtenú varietu slanica vo WRB (2015) neexistujú.

Skupina pôd kultivačných

Ide o pôdy s výrazným kultivačným pôdotvorným procesom (pôdy *in-situ*). Patrí sem kultizem a hortizem. Kultizeme sú pôdy s kultivačným melioračným diagnostickým Akj horizontom > 35 cm, s možnými príznakmi alebo aj so zvyškom pôvodného diagnostického horizontu. Hortizeme sú pôdy s kultivačným hortickým diagnostickým Ako horizontom, s možnými príznakmi alebo aj so zvyškom pôvodného diagnostického horizontu (MKSP, 2014).

Kultizeme klasifikujeme vo WRB (2015) ako Anthrosols. Jednotlivým subtypom antrozemí pridávame príslušné doplnkové kvalifikátory (*Fluvic*, *Chernic*, *Luvic*, *Calcic*, ...). Hortizeme klasifikujeme vo WRB (2015) ako Hortic Anthrosols. Hlavný kvalifikátor *Hortic* znamená - majúci *hortic* horizont, čo je človekom ovplyvnený minerálny povrchový horizont, ktorý je výsledkom hlbokej kultivácie, intenzívnej fertilizácie a/alebo dlhodobej aplikácie ľudských a zvieracích odpadov a iných organických zvyškov (napr. maštalný hnoj, kuchynský odpad, kompost). Ekvivalenty nasýtených a nenasýtených variet antrozemí a hortizemí vo WRB (2015) neexistujú.

Skupina pôd technogénnych

Ide o pôdy s pôdotvornými procesmi výrazne ovplyvnenými technogénnou činnosťou človeka (pôdy *ex-situ*). Patrí sem antrozem a technozem. Antrozeme sú pôdy s diagnostickým antropogénnym povrchovým iniciálnym alebo rekultivačným horizontom (Adiy, Adry, Adiw, Adrw), vytvoreným z prevažne premiestnených prírodných alebo prírodno-technogénnych materiálov. Technozeme sú pôdy s diagnostickým povrchovým iniciálnym Adix horizontom alebo rekultivačným Adrx horizontom, vytvoreným z prevažne premiestnených technogénnych materiálov (MKSP, 2014). Vo WRB (2015) sú takéto pôdy charakterizované ako samostatná RSG – Technosols. Technosols sú pôdy obsahujúce značné množstvo artefaktov (majúce $\geq 20\%$ artefaktov do 100 cm od povrchu alebo súvislý technický materiál alebo cementovanú spevnenú vrstvu, alebo súvislú priepustnú alebo nepriepustnú stavebnú geomembránu do 100 cm od povrchu).

Antrozeme klasifikujeme vo WRB (2015) ako Regosols a technozeme ako Technosols. Jed-

notlivým subtypom antrozemí a technozemí pridávame príslušné hlavné (v prípade Regosols) a doplnkové (v prípade Technosols) kvalifikátory (*Stagnic*, *Gleyic*, *Calcaric*). Subtypy antrozem rekultivačná a technozem rekultivačná klasifikujeme ako Regosol/Technosol s doplnkovým kvalifikátorom *Transportic* s premiestneným materiálom bez artefaktov alebo *Technic* s obsahom > 10 % artefaktov. Príslušné ekvivalenty pre dystrické, nasýtené a nenасыtené variety technozemí vo WRB (2015) neexistujú.

ZÁVER

Tento príspevok uvádza len najreprezentatívnejšie analógie medzi pôdnymi jednotkami MKSP 2014 a WRB 2015. V dôsledku toho by vyššie uvedené korelácie mali byť použité iba pre všeobecný opis pôdneho pokryvu, zatiaľ čo detailnejšie pedóny môžu reprezentovať aj iné referenčné pôdne skupiny WRB. Detailné štúdie založené na jednotlivých pôdnych opisoch a analytických dátach všetkých profilov je potrebné naštudovať a klasifikovať pomocou kľúča k referenčným pôdnym skupinám (IUSS Working Group WRB, 2015).

Konverzia pôdnych taxónov z jednej klasifikácie do druhej je veľmi náročným a komplexným procesom. Prevod taxónov z MKSP do WRB síce trochu uľahčuje viacero podobných konceptov a je zrejme, že konverzia do WRB je jednoduchšia ako napríklad konverzia do *Americkej klasifikácie USDA* (Soil survey staff, 2003). WRB pokrýva celosvetovú variabilitu pôdneho krytu a má za cieľ čo najkomplexnejšie charakterizovať pôdy sveta. MKSP je regionálne a národne vymedzená klasifikácia, ktorá v mnohých aspektoch rešpektuje vývoj pedológie v národných podmienkach pri rešpektovaní celosvetových trendov. Obe klasifikácie sa líšia určitým množstvom inak nastavených kritérií, sekvencií horizontov a kvantitatívnych parametrov aj pri podobných pôdnych taxónoch. Najst' vhodný spôsob konverzie a dosiahnuť čo najpresnejšiu zhodu vybraných taxónov je preto zložitou problematikou, ktorá si vyžaduje systematický výskum a postupné získavanie skúseností.

Tejto problematike v poslednom čase začína venovať viac pozornosti pôdoznalecká skupina na NPPC-VÚPOP, a to aj v súvislosti s ukončovaním digitalizácie máp KPP, čo zvyšuje potenciál využívania národného informačného systému o pôde pre medzinárodnú spoluprácu. Na rozpracovávanie tejto problematiky využíva rôzne príležitosti, ako sú medzinárodné výskumné projekty, medzinárodné pedologické exkurzie (vrátane exkurzií WRB), atď.

Jednou z príležitostí urobiť výraznejší pokrok v tomto smere bola aj účasť v medzinárodnom projekte „Validácia stredoeurópskej pôdnej databázy“ financovanom Višegrádskymi fondmi v rokoch 2011 – 2012. Tento projekt sa zaoberal validáciou stredoeurópskej pôdnej databázy, ktorú predstavuje údajová vrstva e-SOTER v klasifikačnom systéme WRB (Dobos *et al.*, 2013). Ďalším takým je projekt Erasmus+: Freely Accessible Central European Soil (FACES), ktorý združuje 7 krajín strednej Európy (Poľsko, Maďarsko, Česká republika, Slovensko, Slovinsko, Estónsko, Lotyšsko, Litva) a zameriava sa na popis a tvorbu databázy pôdnych profilov Strednej Európy spracovaný na základe medzinárodnej klasifikácie pôd WRB pre edukačné účely. Ten sa uskutočňuje prostredníctvom tzv. Field Trips (terénnych exkurzií) v uvedených krajinách.

Tabuľka 1 Porovnanie Morfogenetického klasifikačného systému pôd Slovenska (MKSP 2014) a World Reference Base for Soil Resources 2014 – update 2015 (WRB 2015)

Skupina pôd		Pôdny typ		Pôdny subtyp			
MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015		
iniciálnych	Leptosols, Arenosols, Regosols, Fluvisols	Litozem	Lithic Leptosol	modálna	Nudilithic/Lithic Leptosol		
				organogénna	Histic Lithic Leptosol		
				nasýtená*	Eutric Lithic Leptosol		
				nenasýtená*	Dystric Lithic Leptosol		
				karbonátová*	Calcaric Lithic Leptosol		
		Ranker	Skeletic Leptosol, Skeletic Leptic Podzol	modálny	Hyperskeletic/Skeletic Leptosol		
				umbrizemný	Umbric Skeletic Leptosol		
				kambizemný	Cambic Skeletic Leptosol		
				andezemný	Skeletic Leptosol (Andic)		
				podzolový	Skeletic Leptic Podzol		
				organogénny	Histic Skeletic Leptosol		
				kultizemný	Skeletic Leptosol (Aric)		
				nasýtená*	Eutric Skeletic Leptosol		
				nenasýtená*	Dystric Skeletic Leptosol		
		Regozem	Arenosol/ Regosol	modálna	Arenosol/Regosol (Ochric)		
				umbrizemná	Umbrisol (Arenic)		
				podzolová	Dystric Arenosol/Regosol		
				pseudoglejová	Stagnic Regosol/Arenosol (Stagnic)		
				glejová	Endogleyic Arenosol/Regosol		
				kultizemná	Arenosol/Regosol (Aric)		
				nasýtená*	Eutric Arenosol/Regosol		
				nenasýtená*	Dystric Arenosol/Regosol		
		Fluvizem	Fluvisol, Fluvisol Solonchak, Solonetz (Fluvisol)	modálna	Fluvisol (Ochric)		
				glejová	Gleyic Fluvisol		
				slanisková	Fluvisol Solonchak		
				slancová	Solonetz (Fluvisol)		
				kultizemná	Fluvisol (Aric)		
				nasýtená*	Eutric Fluvisol		
				nenasýtená*	Dystric Fluvisol		
				karbonátová*	Calcaric Fluvisol		
		povinná (jedna) varieta*					

Skupina pôd		Pôdny typ		Pôdny subtyp	
MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015
rendzino- vých	Leptosols	Rendzina	Rendzic Skeletic Leptosol, Umbric Leptosol	modálna	Rendzic Skeletic Leptosol
				litozemná	Somerirendzic Nudilithic/Lithic Leptosol
				sutinová	Rendzic Hyperskeletic/Skeletic Leptosol
				umbrizemná	Umbric Leptosol
				kambizemná	Cambic Rendzic Leptosol
				organogénna	Rendzic Histic Leptosol
				kultizemná	Rendzic Leptosol (Aric)
				nasýtená*	Eutric Rendzic Leptosol
				nenasýtená*	Dystric Rendzic Leptosol
				karbonátová*	Dolomitic/Calcaric Rendzic Leptosol
		Pararendzina	Rendzic Leptosol/Leptosol (Ochric), Umbric Leptosol	modálna	Rendzic Leptosol/Leptosol (Ochric)
				umbrizemná	Umbric Leptosol
				kambizemná	Calcaric Leptic Cambisol
				pseudoglejová	Rendzic Leptosol (Stagnic)
				kultizemná	Rendzic Leptosol (Aric)
				nasýtená*	Eutric Rendzic Leptosol
				nenasýtená*	Dystric Rendzic Leptosol
		karbonátová*	Dolomitic/Calcaric Rendzic Leptosol		
		molických	Chernozems, Phaeozems, Kastanozems	Černozem	Chernozem, Phaeozem, Chernic/Mollic Solonchak, Chernic/Mollic Solonetz
hnedozemná	Luvic Phaeozem				
slanisková	Chernic/Mollic Solonchak				
slancová	Chernozem (Sodic) Chernic/Mollic Solonetz				
kultizemná	Chernozem (Aric)				
nasýtená*	–				
nenasýtená*	–				
karbonátová*	Calcic Chernozem				
povinná (jedna) varieta*					

¹ ak nespĺňajú podmienky pre chernic horizont, ale len pre mollic horizont

Skupina pôd		Pôdny typ		Pôdny subtyp	
MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015
molických	Chernozems, Phaeozems, Kastanozems	Čiernica	Fluvis Gleyic Chernozem, Chernic/ Mollic Gleysol, Histic Gleysol, Fluvis Mollic Gleyic Solonchak	modálna	Fluvis Gleyic Chernozem
				černoziemná	Fluvis Gleyic Chernozem
				glejová	Fluvis Gleyic Chernozem Chernic/Mollic Gleysol
				organoziemná	Histic Gleysol Fluvis Gleyic Chernozem (Hyperhumic)
				slanisková	Fluvis Mollic Gleyic Solonchak
				slancová	Fluvis Gleyic Chernozem (Sodic)
				kultizemná	Fluvis Gleyic Chernozem (Aric)
				nasýtená*	–
				nenasýtená*	–
				karbonátová*	Fluvis Calcic Gleyic Chernozem
vertických	Vertisols	Smonica	Vertisol	modálna	Haplic Vertisol (Chernic/ Mollic)
				pseudoglejová	Vertisol (Chernic/Mollic, Stagnic)
				kultizemná	Vertisol (Aric, Chernic/ Mollic)
				nasýtená*	–
				nenasýtená*	–
				karbonátová*	Calcic Vertisol (Chernic/ Mollic)
umbrických	Umbrisols	Umbrizem	Umbrisol, Podzol	modálna	Haplic Umbrisol
				rendzinová	Leptic (Skeletal) Umbrisol
				pararendzinová	Leptic Umbrisol
				kambizemná	Cambic/Brunic Umbrisol
				podzolová	Umbric Podzol
				glejová	Gleyic Umbrisol
				kultizemná	Umbrisol (Aric)
				nasýtená*	–
				nenasýtená*	–
				dystrická*	–
povinná (jedna) varieta*					

Skupina pôd		Pôdny typ		Pôdny subtyp	
MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015
ilimerických	Luvisols	Hnedozem	Luvisol, Alisol	modálna	Haplic Luvisol (Ochric)
				luvizemná	Albic Luvisol
				pseudoglejová	Stagnic Luvisol
				kultizemná	Luvisol (Aric)
				nasýtená*	Haplic Luvisol
				nenasýtená*	Haplic Alisol (Ochric)
		Luvizem	Luvisol, Alisol	modálna	Albic Luvisol (Ochric)
				podzolová	Albic Luvisol (Epidystric)
				pseudoglejová	Albic Stagnic Fragic Luvisol
				kultizemná	Albic Luvisol (Aric)
				nasýtená*	Albic Luvisol
				nenasýtená*	Albic Alisol (Ochric)
kambických	Cambisols	Kambizem	Cambisol, Umbrisol, Luvisol	modálna	Haplic Cambisol
				sutinová	Skeletal Leptic Cambisol
				rendzinová	Dolomitic/Calcaric (Chromic) Leptic Cambisol
				pararendzinová	Dolomitic/Calcaric Leptic Cambisol
				umbrizemná	Cambic/Brunic Umbrisol
				luvizemná	Leptic Luvisol
				andozemná	Vitric/Andic Cambisol
				pseudoglejová	Stagnic Cambisol
				glejová	Gleyic Cambisol
				kultizemná	Cambisol (Aric)
				nasýtená*	Eutric Cambisol
				nenasýtená*	Dytric Cambisol
				dystrická*	Dytric Cambisol
andických	Andosols	Andozem	Andosol	modálna	Haplic Andosol (Fulvic/ Melanic)
				rankrová	Skeletal Andosol
				umbrizemná	Umbric Andosol
				kultizemná	Andosol (Aric)
				nasýtená*	Eutric Andosol
				nenasýtená*	Dytric Andosol
povinná (jedna) variéta*					

Skupina pôd		Pôdny typ		Pôdny subtyp			
MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015		
podzolo- vých	Podzols	Podzol	Podzol	modálny	Albic Podzol		
				umbrizemný	Umbric Albic Podzol		
				kambizemný	Entic Podzol		
				humusovo- železitý	Albic Rustic Podzol		
				glejový	Gleyic Albic Podzol		
				organozemný	Histic Albic Podzol		
				kultizemný	Albic Podzol (Aric)		
				nasýtená*	–		
				nenasýtená*	–		
hygromorf- ných	Planosols, Stagnosols, Gleysols	Pseudoglej	Planosol, Stagnosol, Retisol, Cambisol	modálny	Fragic Planosol/Fragic Stagnosol/Fragic Retisol		
				umbrizemný	Umbric Fragic Planosol/ Stagnosol		
				luzemný	Luvic Albic Fragic Planosol/Stagnosol		
				kambizemný	Stagnic Fragic Cambisol		
				glejový	Gleyic Fragic Planosol/ Stagnosol		
				stagnoglejový	Fragic Stagnosol		
				organozemný	Histic Fragic Planosol/ Stagnosol		
				kultizemný	Fragic Planosol/Stagnosol (Aric)		
				nasýtená*	Eutric Fragic Planosol/ Stagnosol		
				nenasýtená*	Dystric Fragic Planosol/ Stagnosol		
				karbonátová*	Calcaric Fragic Planosol/ Stagnosol		
				Glej	Gleysol	modálny	Gleysol
						umbrizemný	Umbric Gleysol
		močiarový	Folic Gleysol (Humic)				
		organozemný	Histic Gleysol (Humic)				
		kultizemný	Gleysol (Aric)				
		nasýtená*	Eutric Gleysol				
		nenasýtená*	Dystric Gleysol				
		karbonátová*	Calcaric Gleysol				
povinná (jedna) varieta*							

Skupina pôd		Pôdny typ		Pôdny subtyp	
MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015
organických	Histosols	Organozem	Histosol, Planosol, Gleysol	modálna	Histosol
				litozemná	Leptic Histosol
				pseudoglejová	Histic Planosol
				glejová	Folic/Histic Gleysol
				slatinná	Folic Histosol
				kultizemná	–
				nasýtená*	Eutric Histosol
				nenasýtená*	Dystric Histosol
salinických	Solonchaks, Solonetz	Slanisko	Solonchak	modálne	Haplic Solonchak
				čiernicové	Mollic Solonchak
				glejové	Gleyic Solonchak
				slancové	Sodic Solonchak
				kultizemné	–
				nasýtená*	–
		Slanec	Solonetz	modálny	Haplic Solonetz
				fluvizemný	Solonetz (Fluvic)
				čiernicový	Mollic Solonetz
				solodňový	Salic Solonetz
				kultizemný	–
				nasýtená*	–
				nenasýtená*	–
				karbonátová*	Calcic Solonetz
kultivačných	Anthrosols	Kultizem	Anthrosol	modálna	Anthrosol
				regozemná	Anthrosol (Arenic/Clayic/ Loamic/Siltic)
				fluvizemná	Anthrosol (Fluvic)
				černozemná	Anthrosol
				čiernicová	Anthrosol
				hnedozemná	Anthrosol (Luvic)
				luvizemná	Anthrosol (Luvic)
				kambizemná	Anthrosol (Dystric)
				pseudoglejová	Anthrosol (Stagnic)
				glejová	Anthrosol (Gleyic)
				slanisková	Anthrosol (Salic)
				slancová	Anthrosol (Sodic)
nasýtená*	–				
povinná (jedna) variéta*					

Skupina pôd		Pôdny typ		Pôdny subtyp	
MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015	MKSP 2014	WRB 2015
kultivačných	Anthrosols	Kultizem	Anthrosol	nenasýtená*	–
				karbonátová*	Anthrosol (Calcaric)
		Hortizem	Anthrosol	modálna	Hortic Anthrosol
				fluvizemná	Hortic Anthrosol (Fluvic)
				černoziemná	Hortic Anthrosol
				čiernicová	Hortic Anthrosol
				hnedozemná	Hortic Anthrosol (Luvic)
				luzemná	Hortic Anthrosol (Luvic)
				kambizemná	Hortic Anthrosol (Dystric)
				pseudoglejová	Hortic Anthrosol (Stagnic)
				glejová	Hortic Anthrosol (Gleyic)
				nasýtená*	–
				nenasýtená*	–
				karbonátová*	Hortic Anthrosol (Calcaric)
technogén- nych	Technosols	Antrozem	Regosol	iniciálna	Regosol
				pseudoglejová	Stagnic Regosol
				glejová	Gleyic Regosol
				rekultivačná	Regosol (Transportic)
				dystrická*	Dystric Regosol
				nasýtená*	Eutric Regosol
				nenasýtená*	Dystric Regosol
				karbonátová*	Calcaric Regosol
		Technozem	Technosol	iniciálna	Technosol
				pseudoglejová	Technosol (Stagnic)
				glejová	Technosol (Gleyic)
				rekultivačná	Technosol (Technic)
				dystrická*	–
				nasýtená*	–
nenasýtená*	–				
karbonátová*	Technosol (Calcaric)				
povinná (jedna) varieta*					

LITERATÚRA

- CHARZYŃSKI, P. 2006. *Testing WRB on Polish Soils*. Association of Polish Adult Educators, Toruń, s. 1 – 110.
- DOBOS, E. – MICHÉLI, E. – FULAJTÁR, E. – PENÍŽEK, V. – ŚWITONIAK, M. 2013. ValiDat.DSM, a new soil data validation dataset for Central Europe. *Foldrajzi Ertesito/Hungarian Geographical Bulletin* 62 (3), s. 313 – 320.
- DOKUČAJEV, V. V. 1886. *Glavnye momenty v istorii otcenok zemel evropejskoj Rosii s klassifikaciej ruskich pochv*. Otchyt Nizegorodskomu Gubernskomu zemstvu. Materialy k otcenke zemel Nizegorodskoy Guberni. Yestestvennoistoricheskaya chast. Wypusk I. Gl. V: 210 – 342; Yestestvennoistoricheskaya klassifikatciya risskih pochv. Gl. VI: 342 – 391. St. Ptereburg.
- FAO 1998. *World Reference Base for Soil Resources*, by ISSS-ISRIC.FAO. World Soil Resources Report No. 84. Rome, 186 s.
- HRAŠKO, J. – BEDRNA, Z. 1970. Soil mapping of the territory on Slovakia [Mapovanie pôd na Slovensku]. *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznavectva a výživy rastlín*. Bratislava: Slovenská poľnohospodárska akadémia v Prírode, vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 1970, s. 13 – 19.
- HRAŠKO, J. – NĚMEČEK, J. – ŠÁLY, R. – ŠURINA, B. 1987. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd ČSSR*. Bratislava: VCPÚ, 107 s.
- HRAŠKO, J. – LINKEŠ, V. – NĚMEČEK, J. – NOVÁK, J. – ŠÁLY, R. – ŠURINA, B. 1991. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd ČSFR*. 2. doplnené vydanie. Bratislava: VÚPU. 106 s. ISBN 80-85361-05-1.
- HROŠŠO, F. 1958. *Pôdoznavectvo (s prihliadnutím k pôdnym pomerom Slovenska a k potrebám poľnohospodárskej praxe)*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 1958. 313 s.
- HUSNJAK, S. – RUBINIČ, V. – VRBEK, B. – ŠPOLJAR, A. 2010. Važnost, načela i pravila svjetske referentne osnovice za tlo (WRB) s primjerima korištenja u Hrvatskoj [The World Reference Base for Soil Resources (WRB) with examples of its use in Croatia]. *Agronomski glasnik* 63 (5 – 6), s. 347 – 365.
- IUSS Working Group WRB 2006. *World Reference Base for Soil Resources 2006*. World Soil Resources Report No. 103. Rome: FAO. 186 s.
- IUSS Working Group WRB 2007. *World Reference Base for Soil Resources 2006, First Update 2007*. World Soil Resources Report No. 103. Rome: FAO. ISBN 92-5-105511-4.
- IUSS Working Group WRB. 2012. *World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007*. (Svetová referenčná báza pre pôdne zdroje, prvé opravené vydanie 2017). Slovenský preklad: Jaroslava Sobocká. Bratislava: VÚPOP, 2012. 108 s. ISBN 978-80-89128-94-5.
- IUSS Working Group WRB 2014. *World Reference Base for Soil Resources 2014*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports* No. 106. Rome: FAO, 2015. 192 s. ISBN 978-92-5-108369-7.
- IUSS Working Group WRB 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports* No. 106. Rome: FAO, 2015. 192 s. ISBN 978-92-5-108369-7.
- JAMBOR, P. – SOBOCKÁ, J. – BEDRNA, Z. – NESTROY, O. – PRAX, A. – ŠÁLY, R. 2011. *Pôdoznavecký slovník slovensko-anglicko-nemecko-francúzsko-český*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy, 2011. 205 s. ISBN 978-80-89128-84-6.
- KABAŁA, C. – ŚWITONIAK, M. – CHARZYŃSKI, P. 2016. Correlation between the Polish Soil Classification (2011) and international soil classification system World Reference Base for Soil Resources (2015). *Soil Science Annual*, Vol. 67, No.2/2016, s. 88 – 100.
- KARKLINS, A. 2002. A comparative study of the Latvian soil classification with WRB. In: MICHELI, E. – NACHTERGAELE, F.O. – JONES, R.J.A. – MONTANARELLA, L. (Eds.) *Soil Classification 2001*. European Soil Bureau Research Report No. 7. EUR 20398 EN, s. 199 – 204.
- KOŽUCH, O. 1951. *Praktické pôdoznavectvo*. Bratislava, 1951.
- KRASILNIKOV, P.V. 2002. *Soil terminology and correlation*. Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, 225 s.
- KYNTERA, F. 1937. *Solné pôdy, ich vlastnosti a zlepšovanie so zvláštnym zreteľom na solné pôdy na Slovensku*. Praha, 1937.
- LÁNG, V. – FUCHS, M. – WALTNER, I. – MICHÉLI, E. 2013. Soil taxonomic distance, a tool for correlation: As exemplified by the Hungarian Brown Forest Soils and related WRB Reference Soil Groups. *Geoderma* 192(2013), s. 269 – 276.
- MALÁČ, B. 1962. *Hlavné pôdne typy Slovenska*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 1962. 306 s.
- MUNTEANU, I. – FLOREA, N. 2002. Present-day status of Soil Classification in Romania. In: MICHELI, E. –

- NACHTERGAELE, F.O. – JONES, R.J.A. – MONTANARELLA, L. (Eds.) *Soil Classification 2001*. European Soil Bureau Research Report No. 7. EUR 20398 EN, s. 55 – 62.
- NOVÁK, V. 1926. Schematický náčrt klimazonálnych typů půd republiky Československé. Praha: *Sborník Československé Akademie Zemědělské*. Zvláštní otisk, I. A. – Seš. 1. – s. 67 – 76.
- NĚMEČEK, J. – DAMAŠKA, J. – HRAŠKO, J. – BEDRNA, Z. – Kalenda, M. – Zuska, V. – Tomášek, m. – 1966. *Priekum poľnohospodárskych pôd ČSSR*. Súborná metodika, časť A. 3. vydanie. Ústredný výskumný ústav rastlinnej výroby – Praha, sektor pôdoznanectva. Slovenský preklad – Laboratórium pôdoznanectva, Bratislava, 1966. 161 s.
- NĚMEČEK, J. – DAMAŠKA, J. – HRAŠKO, J. – BEDRN, Z. – ZUSKA, V. – TOMÁŠEK, M. – KALENDA, M. 1967. *Průzkum zemědělských půd ČSSR*. Souborná metodika. Díl první. Metodika terénního průzkumu, sestavování půdních map, kartogramů a průvodních zpráv. Geneticko-agronomická klasifikace půd ČSSR. Praha: Ministerstvo zemědělství a výživy, 1967. 246 s.
- PALMIERI, F. – SANTOS, H. – GOMES, I. – LUMBRERAS, J. – AGLIO, M. 2003. The Brazilian Soil Classification System. In: ESWARAN, H. – RICE, T. – AHRENS, R. – STEWART, B.A. (Eds.) *Soil Classification*. A Global Desk Reference. CRC Press, Boca Ration London New York Washington D.C. – s. 127 – 146.
- PELÍŠEK, J. 1937. *Lesnícke půdoznanectví*. Praha, 1937.
- SECU, C.V. – PATRICHE, C. – VASILINIUS I. 2008. Aspects regarding the correlation of the Romanian Soil Taxonomy System (2003) with WRB (2006). *Soil Science* 9(3–4), s. 56 – 62.
- SOBOCKÁ, J. 2008. Kultizeme Slovenska a ich porovnanie s Antrosolmi (WRB 2006). *Vedecké práce VÚPOP*, 30, Bratislava: VÚPOP, 2008, s. 113 – 123.
- SOBOCKÁ, J. – BEDRNA, Z. – JURÁNI, B. – RAČKO, J. 2000. Anthropogenic Soils in the Morphogenetic Soil Classification System of Slovakia. In: BURGHARDT, W. – W. – DORNHAUF, CH. (Eds.) *Proceed. 1st Inter. Conf. SUITMA*, July 12 – 18 2000. University of Essen, vol. I, s. 277 – 281.
- SOBOCKÁ, J. – BALKOVIČ J. – BEDRNA Z. 2017. Classification of anthropogenic soils by new diagnostic criteria involved in the Slovak Soil Classification System (2014). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 19, UGU2017–4532-2, 2017, EGU General Assembly, 2017.
- SOIL SURVEY STAFF 1960. *Soil Classification*. A Comprehensive System. 7th Approximation. Washington D.C.: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service.
- SOIL SURVEY STAFF 2003. *Keys to Soil Taxonomy*. 9th Edition. Washington D.C.: Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture (USDA).
- SPS (SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA) 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska*. Bazálna referenčná taxonómia. Druhé upravené vydanie. Bratislava: NPPC – VÚPOP Bratislava, 2014. 96 s. ISBN 978-80-8163-005-7.
- ŠÁLY, R. – BEDRNA, Z. – BUBLINEC, E. – ČURLÍK, J. – FULAJTÁR, E. – GREGOR, J. – HANES, J. – JURÁNI, B. – KUKLA, J. – RAČKO, J. – SOBOCKÁ, J. – ŠURINA, B. 2000. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska*. Bazálna referenčná taxonómia. Bratislava: VÚPOP, SPS. 74 s. ISBN 80-85361-70-1.
- ŠURINA, B. 1997. World Reference Base for Soil Resources – Its Evaluation from the Point of View of Slovak M.S.C.S. Soil Units Comparison. *Vedecké práce VÚPÚ*, 20/1. Bratislava: VÚPÚ, 1997, s. 133 – 142.
- ZÁDOROVÁ, T, PENÍŽEK, V. 2011. Problems in Correlation of Czech National Soil Classification and World Reference Base 2006. *Geoderma*, 167/168, 2011, s. 54 – 60.

POROVNANIE KLASIFIKÁCIE ANTROPOGÉNNYCH PÔD V MKSP 2014 A WRB 2015 VO VÄZBE NA ZDOKONALENIE SYSTÉMU

A COMPARISON OF THE ANTHROPOGENIC SOIL CLASSIFICATION SYSTEM MSCS 2014 AND WRB 2015 IN RELATION TO SYSTEM IMPROVEMENT

Jaroslava Sobocká

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy,
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, e-mail j.sobocka@vupop.sk*

ABSTRAKT

Antropogénne pôdy možno mapovať predovšetkým v urbanizovaných, priemyselných, dopravných, banských a vojenských územiach, menej v poľnohospodárskej krajine. Problémy správneho vyhodnotenia a klasifikácie týchto pôd sa vyskytujú veľmi často a môžu mať za následok rôznorodé, dokonca aj protichodné názory. Jednou z nezrovnalostí je rozdielne chápanie pojmov urbánna pôda, antropogénna pôda a iné *terminus technicus*, ktoré sa vyskytli vo vedeckej literatúre. Príspevok navrhuje riešenie, kde sleduje dva koncepty chápania týchto pojmov. V novej verzii klasifikácie antropogénnych pôd na Slovensku (MKSP 2014) boli zahrnuté niektoré nové diagnostické kritériá, ktoré napomáhajú lepšiemu porozumeniu podstaty a genézy týchto pôd. Pôvodná skupina antropogénnych pôd (MKSP 2000) bola rozdelená na dve nové skupiny: 1) skupina pôd kultivačných s dvoma typmi kultizem a hortizem a 2) skupina pôd technogénnych s typmi: antrozem a technozem, toto členenie je v korelácii s WRB 2015. Skupina kultivačných pôd predstavuje pôdy, ktoré sa vyvíjajú hlavne v podmienkach „in situ“ s diagnostickými horizontmi charakterizovanými hlbokými kultivačnými zásahmi človeka. Skupina pôd technogénnych sú pôdy „ex-situ“ s hlavnými znakmi: antropogénne premiestnený materiál (APM) a obsah artefaktov. Cieľom príspevku je porovnať klasifikačný systém MKSP 2014 so systémom podobných pôd vo WRB 2015 z hľadiska diagnostiky a taxonomickej úrovne. Korelácia systémov umožnila identifikovať určité pozitíva, či nedostatky v chápaní princípov klasifikačných kritérií. Výsledky štúdie popísali a potvrdili viaceré nezrovnalosti, či nesprávne chápané vplyvy antropogénnych faktorov a genézy pôd z hľadiska klasifikačných kritérií.

Kľúčové slová: MKSP 2014, WRB 2015, antropogénna pôda, diagnostika, klasifikácia pôd

ABSTRACT

Anthropogenic soils can be mapped primarily in urban, industrial, transport, mining and

military areas, less in the agricultural landscape. Problems of correct assessment and classification of these soils occur very often and can result in various even conflicting views. One of the inconsistencies is the different understanding of the terms like urban soil, anthropogenic soil and other *terminus technicus* that have occurred in scientific literature. The paper proposes a solution where it follows two concepts of understanding these terms. In the new version of anthropogenic soil classification in Slovakia (MSCS 2014), some new diagnostic criteria have been included, which can help to better understand the nature and genesis of these soils. The original group of anthropogenic soils (MSCS 2000) was divided into two new groups: 1) a group of cultivated soils with two soil types: Kultizem and Hortizem; and 2) a group of technogenic soils with the types: Anthrozem and Technozem, this division is in correlation with the WRB 2015. The group of cultivated soils represent soils that develop mainly under „in situ“ conditions with diagnostic horizons characterized by deep human cultivation activities. Group of technogenic soils are „ex-situ“ soils with the main features: human-transported material (APM) and artefact content. The aim of the paper is to compare MSCS 2014 classification system with the WRB 2015 similar soil system in terms of diagnostics and taxonomic level. Correlation of systems has allowed to identify certain positives or deficiencies in understanding the principles of classification criteria. The results confirmed several inconsistencies or misunderstood effects of anthropogenic factors and soil genesis in terms of their classification.

Keywords: MKSP 2014, WRB 2015, anthropogenic soil, diagnostics, soil classification

ÚVOD

Výskum urbánnych pöd sa v posledných desaťročiach začal rozvíjať veľmi rýchlo (DE KIMPE, MOREL 2000). CERTINI, SCALENGHE (2011) hovoria o novej dobe – antropocéne, kde antropogénne pödy a ich výskum zohráva významnú úlohu. V dôsledku toho sa objavili rôzne terminologické pojmy, ktoré sa uvádzajú v odkazoch výskumu urbánnych a antropogénnych pöd. Táto terminológia nie je zjednotená a doposiaľ existuje slabý konsenzus v jednotnom chápaní týchto pöd. Podobne taxonomické systémy na riešenie identifikácie, inventarizácie a interpretácie týchto pöd boli prezentované vo viacerých prácach, pričom ich pomenovanie bolo a doteraz je rôznorodé. Možno spomenúť niektoré príklady. HARTMANN, AMMONS, HARTGROVE (2004) popisujú antropogénne pödy a poukazujú na fakt, že žiadna taxonomická metóda nie je dostatočná na to, aby presne popísala tieto pödy. LEHMANN, STAHR (2007) uvádzajú antropogénne urbánne pödy, STROGANOVA *et al.* (2008) pracuje s pojmom urbánne pödy. Príkladom ruskej školy je vyčlenenie týchto pöd z klasifikácie prírodných pöd a ich pomenovanie ako „povrchové pôdam podobné útvary“ a neskôr ich pričlenenie do Ruského klasifikačného systému pöd (PROKOFJEVA, GERASIMOVA, BEZUGLOVA 2014). ROSSITER (2007) vo svojej štúdii uviedol urbánne a priemyselné pödy a diskutoval o termíne „urbánna pôda“. Mal veľmi progresívnu úlohu pri vytvorení novej pôdnej skupiny *Technosols* vo WRB 2006 (IUSS Working Group WRB 2006). Najnovší svetový referenčný systém pre pôdne zdroje (WRB 2014, 2015) ako klasifikačný systém definuje antropogénne pödy ako pödy s antropogénnymi diagnostickými znakmi, ktoré sú parciálne identifikované

v teréne. V poslednom čase sa začal používať termín SUITMA pôdy (CHARZYNSKI 2013), t. j. pôdy vyskytujúce sa v urbanizovaných, priemyselných, dopravných, banských a vojenských územiach. Tento výraz sa používa ako skratka pre pracovnú skupinu SUITMA v IUSS (MOREL, HEINRICH 2008) a je návrh pre zavedenie tejto skratky pre všeobecné pomenovanie týchto pôd.

Okrem problémov názvoslovia, skutočným problémom je klasifikácia samotných antropogénnych pôd. Pôvodná skupina antropogénnych pôd (MKSP 2000) bola v MKSP 2014 (SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA 2014) rozdelená na dve nové skupiny: 1) skupina pôd kultivačných s dvoma typmi kultizem a hortizem a 2) skupina technogénnych pôd s typmi: antrozem a technozem, t. j. takzvaných umelých, človekom vytvorených pôd, veľa krát označených ako technogénnych pôd. Tento koncept sleduje aj najnovší klasifikačný systém pôd WRB (IUSS Working Group 2015). Na rozdiel od skupiny kultivačných pôd nie je skupina technogénnych pôd podľa doterajších poznatkov uspokojivo vyriešená. Našli veľa rôznych interpretácií, ktoré sledovali pomerne rozdielne klasifikačné koncepty. V mnohých prípadoch sú tieto pôdy klasifikované podľa klasifikácie prirodzených pôd, pokiaľ sú v iniciálnom štádiu vývoja (napríklad Regosoly, Rendziny atď. v nemeckej klasifikácii DBG 1998) alebo Entisoly, či Inceptisoly v Soil Taxonomy USDA (SOIL SURVEY STAFF 2014). Iným spôsobom sú riešené technogénne povrchové útvary (TONKONOGOV, LEBEDEVVA 1999) alebo antropogénne umelé alebo rekonštruované pôdy vo francúzskom klasifikačnom systéme (BLAIZE 1998). Kritérium diferenciacie pre umelo vytvorené pôdy v slovenskom klasifikačnom systéme uviedla SOBOCKÁ (2011), ktoré zahŕňa človekom transportovaný a zmenený pôdny a/alebo substrátový materiál, ktorého pôvod je „ex-situ“ (mimo záujmového územia) a/alebo prítomnosť artefaktov. CHARZYNSKI *et al.* (2013) sa venovali klasifikácii technogénnych pôd podľa systému WRB a ich začlenenie do poľského klasifikačného systému, podobne ako PUSKÁS, FARSANG (2009) hodnotili vlastnosti technogénnych pôd podľa WRB 2006.

Cieľom štúdie je predložiť návrh konceptu na zjednotenie používaných termínov a dať im presne vymedzený odborný význam. Druhým zámerom je porovnať a korelovať diagnostiku a klasifikačné systémy antropogénnych a hlavne technogénnych pôd dvoch v súčasnosti najviac používaných klasifikačných systémov pôd na Slovensku MKSP (2014) a vo svete WRB (2015). Detailným štúdiom kritériálnych klasifikačných znakov je možné identifikovať rozdielnosti a odvodiť mieru antropogénnych vplyvov a genézy v pôdnom profile.

MATERIÁL A METÓDY

Pojem „urbánne pôdy“ zaviedol BURGHARDT (1994) ako všeobecný terminologický koncept pôd, ktorý identifikuje pôdy vyskytujúce sa hlavne v urbanizovaných územiach. V nich možno identifikovať pôdy: (i) prírodné, (ii) ovplyvnené človekom, (iii) človekom zmenené, (iv) človekom vytvorené.

Na druhej strane klasifikačný koncept definuje pôdy, ktoré musia spĺňať klasifikačné kritériá pre zaradenia do príslušného taxónu. SOBOCKÁ (2003) uviedla rozdielne chápanie oboch pojmov, ktoré bude vysvetlené v stati Výsledky a diskusia.

Aby bolo možné zaradiť tieto pôdy do klasifikačného systému, bolo potrebné vytvoriť

novú definíciu objektu klasifikácie, ktorá v sebe zahrňuje antropický segment. V MKSP 2014 definícia znie: „Pôda je samostatný prírodný útvar, ktorý vzniká v najvrchnejšej časti zemskej kôry, v zóne interakcie litosféry, atmosféry, hydrosféry a biosféry, s ktorými je v sústavnej látkovej a energetickej premene a môže byť výrazne ovplyvňovaná prvkami antroposféry (noosféry)“.

Definícia objektu klasifikácie WRB 2015 je pre klasických pôdoznalcov nezvyčajná: „... je akýkoľvek materiál do hĺbky 2 m od povrchu Zeme, ktorý je v kontakte s atmosférou okrem živých organizmov, územia so súvislým ľadom nepokrytým iným materiálom a vodnými plochami hlbšími ako 2 m“. Takto definícia môže zahrnúť do klasifikácie súvislú horninu, dláždené urbánne pôdy, pôdy priemyselných území, pôdy jaskýň a subakválne pôdy. Pôdy pod súvislou horninou nie sú objektom klasifikácie.

V MKSP 2014 možno rozlíšiť skupinu pôd kultivačných s výrazným kultivačným pôdotvorným procesom (*pôdy in-situ*), ktoré majú dominantný kultivačný melioračný Akm horizont alebo kultivačný hortický Akh horizont pretvorený intenzívnym obrábaním a zúrodnením pôvodne prírodnej pôdy. Skupina má 2 pôdne typy: kultizem (KT) a hortizem (HZ). Druhá skupina pôd technogénnych predstavuje pôdy s pôdotvornými procesmi výrazne ovplyvnenými činnosťou človeka (*pôdy ex-situ*), ktoré majú dominantný povrchový antropogénny Ad horizont a podpovrchový antropogénny Hd horizont, ktoré sú vytvorené z antropogénne premiestnených materiálov (APM) prírodného, prírodno-technogénneho alebo technogénneho pôvodu. Skupina má 2 pôdne typy: antrozem a technozem.

Kultivačný melioračný Akj horizont musí mať v hĺbke ≥ 35 cm obsah organického C $\geq 0,3$ % hm a znaky kultivácie (znaky orby, homogenizácia vrstvy, zreteľný až ostrý prechod, farebne odlišný, zhutnenie na jeho spodnej hranici) a/alebo prímies agrochemikálií, vápenca, maštalného hnoja, pozberových zvyškov a iných organo-minerálnych zúrodňovacích komponentov. Kultivačný hortický Ako horizont má mať v hĺbke ≥ 35 cm farebné kritérium pre molický Am horizont, s obsahom organického C ≥ 1 % hm., biologické oživenie (koprolity, zooedafón a. i.) > 20 % obj., obsah P_2O_5 v 1 % kyseliny citrónovej > 250 mg.kg⁻¹ a spravidla slabo alkalickú reakciu.

Kultizeme a hortizeme sa typovo odlišujú podľa príznakov alebo zvyšku pôvodného diagnostického horizontu.

Antropogénny povrchový horizont Ad má hrúbku > 1 cm, obsah organického C $\geq 0,3$ % hm. a prítomnosť artefaktov (úlomky tehál, skla, plastových materiálov, železa, trosky, uhlia, a. i.). Variety horizontu sa rozlišujú na Adi horizont, ktorý predstavuje primárne štádium pôdotvorby o hrúbke 1 – 10 cm a na antropogénny rekultivačný Adr – povrchový horizont obohatený o humus a vytvorený rekultiváciou z antropogénne premiestnených materiálov s hrúbkou viac ako 10 cm. Antropogénny podpovrchový horizont Hd – podpovrchový horizont má hrúbku > 1 cm a prítomnosť artefaktov.

Antrozeme a technozeme sa typovo odlišujú podľa znakov iniciálnej pôdotvorby, ovplyvnenia vodou a rekultiváciou, pričom kumulatívna hrúbka horizontov má byť viac ako 60 cm.

MKSP 2014 ešte uvádza antropogénne premiestnený materiál (ATM), ktorý predstavuje človekom transportovaný a zmenený materiál, premiestnený ľudskými aktivitami (pomocou mechanizačných prostriedkov alebo manuálne) z iných zdrojových území. Nezahrňuje premiestnenie materiálu pri vodnej, veternej erózii, pri záplavách, prirodzenej koluviácii materiálu

alebo prírodných katastrof. Avšak zahrňuje prípady deštrukcie pôd vojnových území. Podľa charakteru sa ATM rozdeľuje na i) prírodné materiály (y) s podielom artefaktov < 10 %, ii) prírodno-technogénne materiály (w) s podielom artefaktov 10–40 %, a iii) technogénne materiály (x) s podielom artefaktov > 40 %. Podrobnejšia klasifikácia je uvedená v MKSP 2014.

WRB 2015 je dvojúrovňový systém, ktorý sa na prvej úrovni rieši referenčné pôdne skupiny (*Reference Soil Groups*) v počte 32 skupín z ktorých antropogénne sú *Anthrosols* a *Technosols* a na druhej úrovni sú kvalifikátory (*qualifiers*), buď hlavné alebo doplnkové. Z diagnostických horizontov, ktoré definujú antropogénne pôdy možno uviesť antrakvický, hortický, irrigrický, plaggický, pretický a terrický horizont. Okrem hortického a terrického horizontu sú aj ostatné diagnostické horizonty viazané na určitý spôsob kultivácie, avšak v našich podmienkach nevyužívaný, napr. antrakvický pre zamokrované ryžové polia, irrigrický pre intenzívne zavlažované pôdy, plaggické pre stredovekú kultiváciu pôd.

Hortický (*Hortic*) horizont je minerálny povrchový horizont vytvorený ľudskými aktivitami hlbokoj kultivácie, intenzívnej fertilizácie a dlhodobou aplikáciou organických zvyškov a ostatných organických odpadov. Terrický (*Terric*) horizont je minerálny povrchový horizont, ktorý sa tvorí pridávaním hnojiva, kompostov, piesku, spráše alebo bahna do pôdy. Môže obsahovať náhodný skelet a tvorí sa v priebehu dlhšej doby. Zvyčajne je zmiešaný s pôvodným povrchovým horizontom.

Okrem diagnostických horizontov sú vo WRB 2015 uvedené aj diagnostické vlastnosti a diagnostické materiály. Antrické (*Anthric*) vlastnosti možno aplikovať na kultivované pôdy s molickým alebo umbrickým horizontom, ktoré môžu byť zmenené. Napr. umbrické horizonty sa transformujú do molických horizontov vápnením a hnojením. Z diagnostických materiálov sú zastúpené artefakty (*Artefacts*): človekom vytvorený alebo podstatne modifikovaný materiál ako súčasť priemyselného alebo remeselného výrobného procesu. Sú prítomné v určitej hĺbke až ku povrchu pôdy a uložené v priestore, kde sa normálne nevyskytujú a majú v podstate rovnaké chemické a mineralogické vlastnosti ako pri prvej výrobe, modifikácii či výkope. Príkladmi sú tehly, keramika, sklo, drvený alebo upravený kameň, priemyselný odpad, komunálny odpad, spracované ropné produkty, atď. Druhým diagnostickým materiálom je technický spevnený materiál (*Technic hard material*), ktorý predstavuje spevnený materiál ako výsledok priemyselného procesu, má vlastnosti odlišné od prírodných materiálov a súvisle pokrýva alebo má otvorený priestor < 5 % horizontálnej plochy. Príkladmi sú asfalt, betón, súvislá vrstva opracovaného kameňa.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Konsenzus terminologických pojmov

Pokúsili sme sa riešiť konsenzus rôznych pojmov, ako sme náhodne vybrali z referencií výskumu antropogénnych a urbánnych pôd:

- HARTMANN *et al.* (2004) Antropogénne pôdy
 - ROSSITER (2007) Urbánne a priemyselné pôdy
-

- LEHMANN, STAHR (2007) Antropogénne urbánne pôdy
- IUSS WORKING GROUP WRB (2014) Antropogénne pôdy
- STROGANOVA *et al.* (1998) Urbánne pôdy
- TONKONOGOV, LEBEDEV (1999) Pöde podobné útvary
- CHARZYNSKI (2013) SUITMA pôdy

Urbánne alebo SUITMA pôdy zahrňujú v sebe lokálny, resp. environmentálny aspekt hodnotenia pôd. Tieto pôdy možno vcelku chápať ako pôdy, kde možno skúmať, či stanoviť rôzne výskumné problematiky ako sú funkcie urbánnych pôd, ekosystémové služby urbánnych pôd, znečistenie urbánnych pôd a pod. Implicitne sú v tomto pojme zahrnuté pôdy priemyselných, dopravných, banských či vojenských území. Okrem toho existujú samostatné výskumy špecializované na výskum banských pôd, výskum priemyselných pôd a podobne. Preto presnejší názov týchto pôd by mohla vystihovať novo navrhovaná skratka SUITMA (CHARZYNSKI 2013) a pôvodný názov „urbánne pôdy“ by označoval pôdy vyskytujúce sa v urbanizovaných územiach miest, veľkomiest či megalopolisov.

Na druhej strane existuje pojem antropogénne pôdy (klasifikačný pojem pre pôdy diagnostikované v zmysle platného kriteriálneho systému pôd). Sú to pôdy človekom silne premenené alebo umelo vytvorené do takej miery, že ich nemožno považovať za pôdy prírodné. Problémom klasifikácie takýchto pôd je aspekt iniciálnej pôdotvorby, kedy pôdy vznikajúce na človekom premiestnených a premenených antropogénnych materiáloch sú označované ako regozeme, alebo regosoly. To je problém ich celkového zaradenia do skupiny antropogénnych pôd.

Pôdy s lokálnym, či environmentálnym aspektom chápu LEHMANN, STAHR (2007), ktorí ich kategorizovali podľa ich výskytu v mestách na vnútorné a externé pôdy a CHARZYNSKI (2013) ako SUITMA pôdy. Ostatné pomenovania sa viažu na koncept pôdnych klasifikácií – HARTMANN *et al.* (2004), ROSSITER (2007). STROGANOVA *et al.* (1998) uviedla pomenovanie Urbanozem ako klasifikačný pojem pre nový pôdny typ v rámci urbánnych pôd, čo situáciu nomenklatúry komplikuje. Iným problémom je vyčlenenie týchto pôd zo systému prírodných klasifikácií, čo je prípad ruskej klasifikačnej školy (Šišov *et al.* 2001). Neskôr bol tento systém upravený a pôdy a pôdam podobné útvary urbánnych území boli včlenené do Ruského klasifikačného systému pôd (PROKOJEVA *et al.* 2014, BRAGINA, GERASIMOVA 2017).

Definície objektu klasifikácie

Podľa definície objektu klasifikácie oboch sledovaných klasifikačných systémov sa vyskytuje segment vplyvu človeka na pôdu. Pre MKSP 2014 je to ... a môže byť výrazne ovplyvňovaná prvkami antroposféry (noosféry). Táto definícia len veľmi mierne charakterizuje prítomnosť antropogénnych a hlavne technogénnych pôd. Iný a veľmi špecificky ponímaný je objekt klasifikácie vo WRB 2015, ktorý má s tradičným chápaním pôdy ako objektu klasifikácie málo spoločné, t.j. za objekt klasifikácie považuje akýkoľvek materiál do hĺbky 2 m od povrchu Zeme, ktorý je v kontakte s atmosférou okrem živých organizmov a súvislého ľadu. Tento koncept vo veľkej miere rešpektuje technogénne prvky pôd, nakoľko zahrňuje do klasifikácie súvislú technickú

horninu, dláždené urbánne pôdy, pôdy priemyselných území, artefakty a pod. Otázka tradičného chápania pôdy v tomto prípade stojí na otázke – čo je pôda a čo nie je pôda. Odpovede môžu byť rôzne a konsenzus v tomto zmysle nebude dosiahnutý.

Skupiny antropogénnych pôd

Podľa skupín antropogénnych pôd sú v MKSP 2014 a WRB 2015 pomerne jasne vyčlenené skupiny antropogénnych pôd, hoci ich taxonomické úrovne sú rozdielne. Skupina pôd kultivačných je porovnateľná s *Anthrosols*, hoci rozsah kultivačných alebo agronomických zásahov do pôdy vo WRB 2015 zahrňuje oveľa viac foriem (globálna úroveň). Podľa WRB 2015 v SR prevažujú pôdy s terrickým a hortickým diagnostickým horizontom, čo môže aproximatívne korelovať s kultizemami a hortizemami s možnou aplikáciou antrických vlastností.

Skupina technogénnych pôd MKSP 2014 približne koreluje s *Technosols* vo WRB 2015. Diagnostika je pomerne rozdielna, nakoľko v MKSP 2014 sa uplatňuje antropogénne premiestnený materiál a artefakty s definovaním povrchového a/alebo podpovrchového diagnostického horizontu, vo WRB 2015 sú to diagnostické materiály: artefakty a technická spevnená hornina.

Pôdne typy antropogénnych pôd

Pre skupinu kultivačných pôd sú v MKSP 2014 uvedené dva pôdne typy: kultizeme a antrozeme. Sú charakteristické kultivačným diagnostickým horizontom, ktorý je pre hortizeme doplnený o ďalšie vlastnosti. Tieto sa opierajú o charakteristiky uvedené vo WRB 2015, preto sú pôdny typ hortizeme a *Hortic Anthrosols* dosť podobné. Kultizeme nie je možné jednoznačne zaradiť, čiastočne ich možno priblížiť k *Anthrosols* s terrickým diagnostickým horizontom, tieto však majú hrúbku ≥ 20 cm, zatiaľ čo pre naše kultizeme je stanovená hrúbka ≥ 35 cm. Okrem toho *Terric Anthrosols* musia mať ≥ 50 % nasýtenia bázami. V prípade *Kastanozems* (niektoré naše černoze), *Phaeozems* a *Umbrisols* možno použiť *qualifier Anthric*. Antrické diagnostické kritériá sú dané pre pôdy, ktoré majú molický alebo umbrický horizont, znaky ľudských aktivít ako orníkový pan, miešanie pôdnych vrstiev kultiváciou, zvyšky aplikovaného vápenca, $\geq 1,5 \text{ kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ v 1% kyseline citrónovej a < 5 % biologických znakov (koprolity, stopy po pedofaune).

Problematickejšia korelácia je u antrozemí a technozemí MKSP 2014 a WRB 2015. MKSP 2014 uvádza dva diagnostické horizonty, ktoré majú charakterizovať antrozeme a technozeme. Nemáme výhrady voči povrchovému antropogénnemu diagnostickému horizontu Ad, ktorý má byť z človekom premiestnených a zmenených materiálov s určitým obsahom artefaktov s dominantným iníciačným či rekultivačným procesom a/alebo hydromorfným procesom. Problémom je podpovrchový diagnostický horizont Hd, ktorý nemá žiadne diagnostické vlastnosti, ktoré by oprávňovali hodnotiť horizont ako diagnostický. Je nadbytočný, nakoľko je identický s človekom premiestneným a zmeneným materiálom (APM). Pri revidovanej verzii MKSP ho navrhujeme vylúčiť a hodnotiť ho len ako technický materiál (APM) s príslušným podielom artefaktov. Kumulatívna hrúbka pôdneho profilu vrátane APM má byť ≥ 60 cm, hrúbka profilu

≤ 60 cm je považovaná za vrstvu ležiacu nad pochovanou pôdou, čo platí aj pre ostatné pôdy v systéme. Vo WRB 2015 ide o *Transportic qualifier*, prípadne *Novic qualifier* s hrúbkou < 50 cm.

Diagnostické materiály pre Technosols vo WRB – artefakty a spevnený technický materiál dobre korelujú s artefaktami a APM uvedenými v MKSP 2014. Problematické vo WRB 2015 je stanovenie 20 % objemových artefaktov v pôdnom profile ako hraničný kľúč pre zaradenie pôdy do *Technosols*. Pokiaľ pôda tento limit nedosahuje, zaraďuje sa medzi *Regosols*. V MKSP sú dominantné človekom premiestnené a zmenené materiály (APM), ak obsahujú < 40 % artefaktov zaraďujeme ich do antrozemí, ak majú > 40 % artefaktov sú to technozeme. Tu vidíme veľký nesúlad, a treba však poznamenať, že kritéria pre technogénne pôdy sú približne zhodné predovšetkým na nižších taxonomických úrovniach.

Korelácia, subtypov variet a foriem verzus qualifiers

V MKSP 2014 sú kultizeme a hortizeme na úrovni subtypu klasifikované podľa možných príznakov alebo aj so zvyškom pôvodného diagnostického horizontu (napr. fluvizemná, černoziemná, glejová a pod.). Vo WRB 2014 pri *Anthrosols* je tento princíp uplatnený len čiastočne vo forme doplnkových *qualifiers* (napr. *Fluvic*, *Gleyic Stagnic* a pod.). Ako hlavné *qualifiers* pre *Anthrosols* sú pre naše podmienky uvedené: *Hortic* a *Terric*. Pre kultizemné subtypy možno použiť *qualifier Anthric*, a to pre pôdy s molickým alebo umbrickým horizontom a s antrickými vlastnosťami. *Qualifier Aric* sa používa pre kultizemné subtypy (oraná vrstva do 20 cm od povrchu pôdy).

Hlavných *qualifiers* v *Technosols* je 12: *Ekranic*, *Linic*, *Urbic*, *Spolic*, *Garbic*, *Cryic*, *Isolatic*, *Leptic*, *Subaquatic/Tidalic*, *Reductic*, *Hyperskeletalic*. Doplnkových *qualifiers* v *Technosols* je veľké množstvo a tvorí mozaiku prírodných a antropogénnych vlastností pôd, z nich sú napr: *Hortic*, *Terric*, *Archaic*, *Densic*, *Drainic*, *Skeletalic*, *Hyperartefactic*, *Immiscic*, *Novic*, *Relocatic*, *Toxic*, *Technic* a *Transportic*.

MKSP 2014 rozlišuje variety, formy a fázy, ktoré vo WRB 2015 možno hodnotiť ako *qualifiers*. Variety sa identifikujú a kategorizujú podľa chemických vlastností, formy podľa erózo-akumulačných znakov, podľa charakteru antropických zásahov a podľa charakteru organických a mrazových foriem. V Tab. 1 uvádzame formy podľa antropických zásahov v MKSP 2014 a ich koreláciu s *qualifiers* vo WRB 2015.

Tabuľka 1: Porovnanie foriem, resp. variet podľa antropických zásahov MKSP 2014 a WRB 2015

Forma podľa antropických zásahov, resp. varieta, podľa MKSP 2014	Qualifiers podľa WRB 2015
Antrozemná (aa): hrúbka horizontov z prírodných APM je < 60 cm	\approx Transportic (tn) má na povrchu vrstvu ≥ 20 cm hrubú, alebo o hrúbke ≥ 50 % pôdy ak súvislá technická hornina alebo spevnená či stvrdnutá vrstva začína do 40 cm od povrchu a pôdny materiál nemá znaky artefaktov, materiál bol premiestnený z najbližšieho okolia cieľnou ľudskou činnosťou obyčajne pomocou mechanizácie
Technozemná (ax): hrúbka horizontov z prírodno-technogénnych a technogénnych APM je < 60 cm	\approx Technic (te) – majúci ≥ 10 % (obj., vážený priemer) artefakty vo vrchných 100 cm od povrchu pôdy, alebo súvislú horninu alebo spevnenú a stvrdnutú vrstvu akokoľvek je plytká, alebo majúci vrstvu ≥ 10 cm hrubú do 90 cm od povrchu pôdy s ≥ 50 % (obj., vážený priemer) artefaktov

Forma podľa antropických zásahov, resp. varieta, podľa MKSP 2014	Qualifiers podľa WRB 2015
Záhradná (az): intenzívna kultivácia pôd v záhradách, najmä pridávaním zúrodňovacích komponentov (komposty, pesticídy, ai.)	≈ Hortic (ht) – majúci hortický horizont
Terasovaná (at): kultivácia pôd terasovaním na svahoch, s nerovnomernou hrúbkou kultizemného Ak horizontu	≈ Escalic (ec) – vyskytujúci sa v človekom vytvorených terasách
Rigolovaná (ar): kultivácia pôd rigolovaním, uplatňuje sa vo vinohradoch, sadoch a chmeľniciach	Nemá analóg
Terasetová (ao): schodovitý reliéf povrchu pôd na svahoch ako dôsledok pasenia dobytky a mrazových pohybov	Nemá analóg, čiastočne Turbic (tu) – majúci znaky kryoturbácie do 100 cm od povrchu
Odvodnená (av): výskyt slabo výrazných oxidačných znakov ako príznak zmien hydrockého režimu v krajine	≈ Drainic (dr) – majúci umelú drenáž
Zhutnená (ah): antropicky utlačená pôda s výskytom neprirodzenej pôdnej štruktúry (podorničná podošva, lístkovitá štruktúra, apod.)	≈ Densic (dn) – majúci prírodné alebo umelé zhutnenie do 100 cm od povrchu pôdy do tej miery, že korene nemôžu prenikať do zeme, alebo len veľmi ťažko
Urbická (au): navezenie organo-minerálneho materiálu na umelo vyrovnané alebo spustnuté plochy prevažne v urbanizovaných oblastiach, pozdĺž dopravných komunikácií a pod.	≈ Urbic (ub) – majúci vrstvu ≥ 20 cm hrubú do 100 cm od povrchu pôdy s ≥ 20 % (obj., vážený priemer) artefaktov obsahujúcich ≥ 35 % (obj.) trosiek a zvyškov ľudského osídlenia
Depóniová (ap): navezenie organo-minerálneho materiálu na skládky odpadov prevažne chemicky aktívneho materiálu (depóniá komunálnych a priemyselných odpadov s možnosťou metagenézy, t.j. s reduktickou variétou)	≈ Garbic (ga) – majúci vrstvu ≥ 20 cm hrubú do 100 cm od povrchu s ≥ 20 % (obj., vážený priemer) artefaktov obsahujúcich ≥ 35 % (obj.) organického odpadového materiálu
Haldová (ad): vývoj pôd z premiestnených, spravidla prírodno-technogénnych a technogénnych substrátov (ako ťažobné a priemyselné haldy, výsyvky, výplne a pod.),	≈ Spolic (sp) – majúci vrstvu ≥ 20 cm hrubú do 100 cm od povrchu s ≥ 20 % (obj., vážený priemer) artefaktov obsahujúcich ≥ 35 % (obj.) priemyselného odpadu (odpad z banskej ťažby, lomov, troska, popolček, suť)
Ekranická (ae): s výskytom nepriepustného alebo polopriepustného technogénneho materiálu na povrchu pôdy (napr. betón, asfalt, dlažba o hrúbke < 20 cm), ktorý pokrýva viac ako 80 % polypedónu	≈ Ekranic (ek) – majúci technický spevnený materiál do 5 cm od povrchu pôdy
Nástielková (ak): s krátkodobou organickou, minerálnou alebo priemyselnou pokrývkou povrchu pôdy hrubou < 10 cm (napr. drevotriesky, mulčovací textilie, fólie a i.)	Nemá analóg
Kontaminovaná toxická (x): toxicky antropogénne alebo geogénne kontaminovaná časť pôdneho sola (toxická v zmysle platných noriem)	≈ Toxic (tx) – majúci v niektorej vrstve do 50 cm od povrchu pôdy toxické koncentrácie organických alebo anorganických látok iných ako sú ióny Al, Fe, Na, Ca a Mg, alebo majúci rádioaktivitu nebezpečnú pre človeka.

Forma podľa antropických zásahov, resp. varieta, podľa MKSP 2014	Qualifiers podľa WRB 2015
Kontaminovaná imisná (w) : imisne antropogénne alebo geogénne kontaminovaná časť pôdneho sola (imisná v zmysle platných noriem)	≈ Immissic (im) – majúci pri povrchu pôdy vrstvu ≥ 10 cm s 20 % (hmot.) recentný sedimentovaný prach, sadze alebo popolček, ktoré spĺňajú kritéria artefaktov.
Reduktická (u) : zvýšený obsah redukčne pôsobiacich plynov (metán, sírovodík, oxid uhličitý) a nedostatok kyslíka vplyvom priamej a/alebo nepriamej činnosti človeka prejavujúci sa redox znakmi	≈ Reductic (rd) – majúci redukčné podmienky vo ≥ 25 % objemu jemnozeme do 100 cm od povrchu pôdy spôsobené plynými emisiami, napr. metán, alebo kyslíčnik uhličitý alebo kvapalinami ako je benzín
Kultizemné subtypy pôd s molickým alebo umbrickým horizontom (nie černickým)	≈ Anthic (ak) – majúci molický alebo umbrický horizont a antrické vlastnosti ≈ Aric (ai) – oraná vrstva do 20 cm od povrchu pôdy
Nemá analóg, čiastočne ATM technogénne materiály (x) s podielom artefaktov > 40 %	≈ Archaic (ah) – majúci vrstvu ≥ 20 cm hrubú do 100 cm od povrchu pôdy s ≥ 20 % (obj., vážený priemer) artefaktov obsahujúcich ≥ 50 % (obj.) artefaktov vytvorených v pred industriálnych procesoch, napr. keramika, stopy ručných výrobkov
Nemá analóg, čiastočne ATM technogénne materiály (x) s podielom artefaktov > 40 %	≈ Hyperartefactic (ja) – majúci ≥ 50 % (obj., vážený priemer) artefaktov do 100 cm od povrchu pôdy alebo do súvislej horniny, technického spevneného materiálu alebo stvrdnutej vrstvy akokoľvek je plytká
Nemá analóg	Isolatic (il) – majúci nad technickým spevneným materiálom, nad geomembránou alebo nad súvislou vrstvou artefakty do 100 cm od povrchu pôdy, pôdny materiál obsahuje jemnozom bez akéhokoľvek kontaktu s iným pôdnym materiálom (napr. pôdy striech alebo kvetináčov)
Nemá analóg	Irragric (ir) – majúci irragrický horizont
Nemá analóg	Plaggic (pa) - majúci plaggický horizont
Nemá analóg	Pretic (pk) - majúci pretický horizont
Čiastočne kultizeme s hrúbkou ≥ 35 cm a kultizemné subtypy nasýtené	≈ Terric (tr) - majúci terrický horizont a nemá hortický, irragrický, plaggický, pretický horizont s hrúbkou ≥ 50 cm
Nemá analóg	Regic (rg) – majúci hortický, irragrický, plaggický, pretický alebo terrický horizont hrubší ako 150 cm
Nemá analóg, čiastočne ekranická forma (ae)	Linic (lc) – majúci súvislú veľmi slabo priepustnú až nepriepustnú stavebnú geomembránu pri akejkoľvek hrúbke do 100 cm od povrchu pôdy
Nemá analóg	Relocatic (rc) – na mieste pretvorený ľudskou aktivitou do hĺbky ≥ 100 cm (napr. hlboká orba, vykopanie a zakopanie pôdnej sondy alebo vyrovnanie terénu), je nadbytočný okrem kombinácie s ekranickým alebo linickým <i>qualifiers</i> ; porušený podpovrchový diagnostický horizont možno vyjadriť cez spojovník napr. Spodi-Relocatic
Nemá analóg, čiastočne ATM technogénne materiály (x) s podielom artefaktov > 40 %	≈ Hypertechnic (jt) – majúci ≥ 20 % (obj., vážený priemer) artefaktov vo vrchných 100 cm od povrchu pôdy, alebo súvislú horninu alebo spevnenú a stvrdnutú vrstvu akokoľvek je plytká
Nemá analóg, čiastočne ATM prírodné (y) a prírodno-technogénne materiály (w) s podielom artefaktov 10–40 %	≈ Prototechnic (qt) – majúci ≥ 5 % (obj., vážený priemer) artefaktov vo vrchných 100 cm od povrchu pôdy, alebo súvislú horninu alebo spevnenú a stvrdnutú vrstvu akokoľvek je plytká, alebo majúci vrstvu ≥ 10 cm hrubú do 90 cm od povrchu pôdy s ≥ 25 % (obj., vážený priemer) artefaktov

Forma podľa antropických zásahov, resp. varieta, podľa MKSP 2014	Qualifiers podľa WRB 2015
Nemá analóg, čiastočne ATM technogénne materiály (x) s podielom artefaktov > 40 %	≈ Technoleptic (tl) – majúci technický spevnený materiál do 100 cm od povrchu pôdy
Nemá analóg, čiastočne ATM prírodné materiály (y) s podielom artefaktov < 10 %	≈ Organotransportic (ot) má na povrchu vrstvu ≥ 20 cm hrubú, alebo o hrúbke ≥ 50 % pôdy, ak súvislá technická hornina alebo spevnená či stvrdnutá vrstva začína do 40 cm od povrchu a organický materiál nemá znaky artefaktov, materiál bol premiestnený z najbližšieho okolia cieľnou ľudskou činnosťou obyčajne pomocou mechanizácie

Treba poznamenať, že *qualifier Toxic* je ďalej popísaný ako *Anthrotoxic, Phytotoxic, Zootoxic, Radiotoxic*. Domnievame sa, že uvedené charakteristiky sú veľmi opisné, málo kvantifikované a dovoľujú viacvýznamové výklady. Chýbajú limity, pri ktorých sú toxické látky nebezpečné pre ľudí, rastliny a zvieratá.

ZÁVER

V súčasnej literatúre sa často mieša koncept lokality a klasifikácie pôd vyskytujúcich sa v urbanizovaných a priemyselných územiach. Príspevok načrtá určité možnosti riešenia. Definície klasifikovaného objektu sú pomerne odlišné, avšak obe definície obsahujú prvok antropizácie pôd, v WRB 2015 veľmi originálne, čo dovoľuje mapovať zemský povrch objektov bez pedologických vlastností. Z uvedeného konštatovania dedukujeme možnosti hľadať zjednocujúci prístup k riešeniu pomerne mladej vedeckej disciplíny, ktorá uľahčí jej ďalší rozvoj.

Porovnaním dvoch klasifikačných systémov antropogénnych pôd – národného a svetového možno potvrdiť tézu o určitej príbuznosti a určitej odlišnosti oboch systémov. Antropogénne pôdne skupiny sú porovnateľné v oboch systémoch, hoci detailnejší kritériálny systém je odlišný. Diagnostika antropogénnych pôd v oboch systémoch nie je identická, ale aproximatívna, o čom svedčí korelácia subtypov, variet a foriem verus *qualifiers*. Porovnaním systémov antropogénnych pôd sme zistili, že MKSP 2014 nemá analóg v 6 *qualifiers* a čiastočne nemá analóg v 8 *qualifiers*. Na druhej strane WRB 2015 nemá analóg v 2 prípadoch antropických foriem.

Jedným z výsledkov porovnávania oboch systémov klasifikácie pôd je prehodnotenie antropogénnych diagnostických horizontov. V MKSP navrhujeme vylúčiť antropogénny podpovrchový Hd horizont a hodnotiť ho len ako technický materiál (APM) s príslušným podielom artefaktov vzhľadom na to, že nemá znaky diagnostického horizontu.

Pre ďalší rozvoj hodnotenia a klasifikácie antropogénnych pôd je potrebné sa vysporiadať s viacerými problémami. Klasifikácia artefaktov nie je dostatočne vysvetlená, predovšetkým percentuálne zastúpenie je rozdielne v oboch systémoch bez vedeckého podloženia. Ako treba hodnotiť objemové percento artefaktov v pôdnom profile? Ktoré materiály sú definované ako artefakty? Antropogénne premiestnený materiál (APM) nie pre WRB 2015 diagnostickým

materiálom jedine pri obsahu $\geq 20\%$ artefaktov. APM je charakterizovaný inými *qualifiers*. Domnievame sa, že metodológiu výskumu APM treba spresniť a detailizovať, napr. ako hodnotiť a kvantifikovať meranie APM, ako presvedčivo dokázať výskyt transportovaného a zmeneného materiálu od prirodzeného? Skupina pôd kultivačných je pomerne dobre vyriešená a s mapovaním týchto pôd v MKSP 2014 nebývajú ťažkosti, hoci pri WRB ich klasifikácia býva problém. Veľkým problémom je klasifikácia a mapovanie technogénnych pôd (antrozemí a technozemí), hlavne popis pôdnych horizontov vo väzbe na WRB 2015. V tomto ohľade je veľkým prínosom Atlas technogénnych pôd (SÁNDOR *et al.* 2013). Pre ďalší rozvoj vedeckej disciplíny je potreba detailnejšieho výskumu, nakoľko všeobecne chýbajú skúsenosti s hodnotením a mapovaním týchto pôd a nedostatočná je tiež korelácia s ostatnými klasifikačnými systémami. Celkovo chýba manuál pre popis a klasifikáciu antropogénnych pôd.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15 – 0136.

LITERATÚRA

- BLAIZE, D. 1998. A Sound Reference Base for Soil, (the "referential pédologique"). INRA., Paris, (English version).
- BRAGINA, P. – GERASIMOVA, M. 2017. Why parent materials should be introduced into Technosol systematic? *Abstr. Book SUITMA 9*, Moscow, pp 16 – 18.
- BURGHARDT, W. 1994. Soils in urban and industrial environment. *Plant Nutr. Soil Sci.* 157(3): 205–214.
- CERTINI, G. – SCALENGHE, R. 2011. Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *Holocene* 21(8):1269 – 1274.
- CHARZYŃSKI, P. – BEDNAREK, R. – GREINERT, A. – HULISZ, P. – UZAROWICZ, Ł. 2013. Classification of technogenic soils according to WRB system in the light of Polish experiences. *Soil Science Annual* 64(4):145 – 150.
- CHARZYŃSKI, P. – MARKIEWICZ, M. – ŚWITONIAK, M. (Eds.) 2013. Technogenic soils atlas. Polish Society of Soil Science. Toruń
- DBG 1998. *Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands*. Band 86, 180 s.
- DE KIMPE, C.R. – MOREL, J.L. 2000. Urban soil management: a growing concern. *Soil Science* 165 (1), 31 – 40
- HARTMAN, B.A. – AMMONS, J.T. – HARTGROVE, N.T. 2004. A proposal for the Classification of Anthropogenic Soils (*ProcAmSoc of Mining and Reclamation*, Tasks Force April 18 – 24 2004), ASMR.
- IUSS WORKING GROUP WRB 2006. World Reference Base for Soil resources. *World Soil resources report No. 103* FAO Rome.
- IUSS WORKING GROUP WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports* No. 106. FAO, Rome.
- LEHMANN, A. – STAHR, L. 2007. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *J Soils Sediments* 7(4):247–260.
- MOREL, J.L. – HEINRICH, A.B. 2008. SUITMA – soils in urban, industrial, traffic, mining and military areas; An interdisciplinary working group of the 'International Union of Soil Science' (IUSS) dedicated. *J Soils Sediments* to soils strongly modified by human activities. *J Soils Sediments* 8: 206–207.
- PROKOFIEVA, T. – GERASIMOVA, M.I. – BEZUGLOVA, O.S. 2014. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian classification system. *Eur Soil Sci* 47(9): 959–967.
- PUSKÁS, I. – FARSANG, A. 2009. Diagnostic indicators for characterizing urban soils of Szeged, Hungary. *Geoderma* 148(3–4): 267–281.
-

- ROSSITER, D.G. 2004. Classification of urban and industrial soils in the World Reference Base for Soil Resources. *J Soils Sediments* 7: 96–100.
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA 2014. Morphogenetic Soil Classification System of Slovakia. Basal Reference Taxonomy. The second revised edition. Bratislava NPPC-VÚPOP Bratislava, pp 96 (in Slovak).
- SOBOCKÁ, J. 2003. Urban Soils vs. Anthropogenic Soils, their Differentiation and Classification. Final Program and *Abstracts Book*, SUITMA Int. Conf. – July, 9–11, 2003 Nancy, France, pp. 41–42.
- SOBOCKÁ, J. 2011. Návrh inovácie skupiny antropogénnych pôd v MKSP 2000 (definícia, diagnostika, klasifikácia). In: Sobočková, J. (ed). *Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd*. Monografia. VÚPOP Bratislava, s. 118–125, ISBN 978–80-89128–90-7.
- SOIL SURVEY STAFF 2014. Keys to Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 12th edition. – Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington DC, USA, pp. 869.
- STROGANOVA, M. – MYAGKOVA, A. – PROKOFIEVA, T. – SKVORTSOVA, I. 1998. *Soils of Moscow and Urban Environment*. Burghardt W and University of Essen, Moscow.
- ŠIŠOV, L.L. – TONKONOGOV, V.D. – LEBEDEVA, I.I. – GERASIMOVA, M.I. 2001. *Russian Soil Classification System*. Translation R.W. Arnold, V.V. Dokučajev Soil Science Institute, 221p. ISBN 5–86921-047-X.
- TONKONOGOV, V.D. – LEBEDEVA, I.I. 1999. A System for Categorizing Technogenic Surface Formations (Humanly Modified Soils). In J.M. – R.J. Ahrens and R.B. Bryant(eds): *Classification, Correlation and Management of Anthropogenic Soils*. Proceedings-Nevada and California, Sept. 21-Oct. 2, 1998. USANRCS, NSSS, Lincoln, NE, pp. 186–189
-

ODHAD ZÁSOPY ORGANICKÉHO UHLÍKA V POVRCHOVEJ VRSTVE PŮD SLOVENSKA

THE ESTIMATE OF TOPSOIL ORGANIC CARBON STOCK IN SLOVAKIA

**Rastislav Skalský¹, Pavel Pavlenda², Gabriela Barančíková¹, Štefan Koco¹,
Ivan Barka², Zuzana Tarasovičová¹, Jarmila Makovníková¹**

¹ *Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy,
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, r.skalsky@vupop.sk*

² *Národné lesnícke centrum, Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, pavlenda@
nlcsk.org*

ABSTRAKT

Pôdny organický uhlík (POC) je významnou zložkou pôdy, ktorá ovplyvňuje jej vlastnosti a zároveň predstavuje dôležitý prvok kolobehu uhlíka a zároveň bol uznaný za indikátor udržateľného rozvoja v rámci OSN Agendy 2030. V roku 2017 bola z národných príspevkov členských krajín Svetového partnerstva o pôde FAO zostavená svetová mapa obsahu POC v povrchovej vrstve pôdy. Príspevok Slovenska predstavuje prvý prijateľný odhad, ktorý na základe dostupných bodových pozorovaní a pôdných máp, prináša údaje pre poľnohospodárske aj lesné pôdy spolu. Zásoba POC v povrchovej vrstve pôd (0–30 cm) Slovenska bola odhadnutá na 302,13 Mt, pričom jednotkové zásoby POC (t/ha) boli vyššie na lesných pôdach ako poľnohospodárskych pôdach. Súčasná verzia národného odhadu POC má stále obmedzenia na strane použitých údajov aj metód ich spracovania, preto bude potrebné venovať tejto problematike ďalšiu pozornosť.

Kľúčové slová: Svetové partnerstvo o pôde, mapa zásob pôdneho organického uhlíka, poľnohospodárske pôdy, lesné pôdy

ABSTRACT

Soil organic carbon (SOC) is important component of soil which affects its properties as well as SOC is important part of global carbon cycle, and was recognized as indicator of sustainable development in the frame of the UN Agenda 2030. In 2017 the first global topsoil SOC map was compiled by the Global Soil Partnership FAO from national contributions of its members. Contribution of Slovakia is same time the first acceptable estimate of topsoil SOC which, being based on available point observations and soil maps, brings comprehensive information both for agricultural and forest soils. Topsoil (0–30 cm) SOC storage in Slovakia was estimated to 302.13 Mt with SOC stock (t/ha) being higher in forest soils than in agricultural soils. Current version of the national estimate still has got its limitations coming from both the data used and the data interpretation methods; and the estimate will require further attention.

Keywords: Global Soil Partnership, map of soil organic carbon stock, cropland soils, forest soils

ÚVOD

Pôdny organický uhlík (ďalej ako POC) je dôležitou zložkou, ktorá ovplyvňuje vlastnosti pôdy dôležite pre jej správne fungovanie v prírodných a človekom využívaných ekosystémoch (CAMPBELL a PAUSTIAN 2015, BANWART *et al.* 2015). Okrem toho je POC dôležitou zásobárňou uhlíka v jeho bio-geochemickom kolobehu a preto sa mu venuje pozornosť aj z pohľadu výskumu klimatickej zmeny (SMITH *et al.* 2005). Zásoba POC v pôde citlivo reaguje na zmeny prírodných podmienok a tiež v hospodárení na pôde (JANZEN 2006, SMITH *et al.* 2005, MINASNY *et al.* 2014). POC môže byť buď zdrojom alebo zásobárňou uhlíka a tak priamo ovplyvňovať koncentráciu skleníkových plynov v atmosfére (JANZEN 2006). Keďže lesy a lesné pôdy zohrávajú kľúčovú úlohu v sekvestracii uhlíka, čoraz väčšia pozornosť sa venuje systematickému zisťovaniu a hodnoteniu zásob uhlíka v lesných pôdach (BARITZ *et al.* 2010), hodnoteniu ich zmien v súvislosti so zmenou využívania pôdy (STOLBOVOY *et al.* 2005) ale aj metodickým aspektom, maximalizácii presnosti a správnosti interpretácie údajov (VANGUELOVA *et al.* 2016). Premena prírodných a poloprírodných ekosystémov, intenzita obrábania a vstupov, najmä organických hnojív na intenzívne obrábaných pôdach je účinným prostriedkom pozitívnej alebo negatívnej regulácie POC. Poznanie regionálnych zásob POC a ich vývoj v čase má teda veľký význam pre hodnotenie účinnosti politických opatrení na zmiernenie dopadov klimatickej zmeny (napr. FRANK *et al.* 2015).

V roku 2012 bolo na pôde FAO založené Svetové partnerstvo o pôde (*Global Soil Partnership*, ďalej ako GSP), ktorého partnerom je aj Slovensko. Cieľom GSP je podporovať udržateľné hospodárenie na pôde a tým aj zachovanie jej zdravia pre budúce generácie a zvyšovanie povedomia o význame pôdy pre produkciu potravín, produkciu biomasy, pre kolobeh a filtráciu látok a zachovanie života na Zemi. Významnou aktivitou GSP v roku 2017 bola kompilácia prvej svetovej mapy pôdneho organického uhlíka (ďalej ako GSOC v.1), ktorej účelom je podporovať medzinárodné aktivity v oblasti sledovania a boja proti klimatickej zmene (napr. UNFCCC, UNCCD, SDG). FAO sa zaviazalo, že pre UN poskytne GSOC mapu ako jeden z indikátorov udržateľného rozvoja. Slovensko bolo jednou z viacerých krajín, ktorá dodala svoje národné údaje pre toto kolektívne mapové dielo.

Príspevok Slovenska do GSOC v.1 zároveň predstavuje prvú mapu Slovenska s celonárodným pokrytím, ktorá prináša informáciu o zásobe POC pre poľnohospodárske aj lesné pôdy. Cieľom tohto príspevku je predstaviť tento produkt, priniesť prvé komplexné hodnotenie zásoby POC v povrchovej vrstve pôd Slovenska a tiež upozorniť na niektoré dôležité obmedzenia týchto údajov pre ich ďalšie využitie v rámci medzinárodných dohovorov a záväzkov Slovenska.

MATERIÁL A METÓDY

Požiadavky na údaje o POC a priestorový rámec pre harmonizáciu údajov

Snahou GSP bolo vytvoriť celosvetovú mapu POC z národných príspevkov. Pre tieto účely bol dohodnutý priestorový rámec (pravidelná sieť 1 × 1 km štvorcov) a obsah údajov (zásoba POC v povrchovej 0–30 cm vrstve pôdy uvádzaná v t/ha).

Pre európske krajiny bol Európskou environmentálnou agentúrou vytvorený a dostupný súbor hierarchicky usporiadaných štvorcových sietí s rovnakým počiatkom (EEA reference grid 2017). Pre harmonizáciu údajov o POC na národnej úrovni bola použitá štvorcová sieť s rozlíšením 1 × 1 km s pokrytím celého územia Slovenska.

Odhad POC pre poľnohospodárske pôdy

Ako zdroj údajov o pôde bol využitý súbor sond z databázy AISOP (LINKEŠ *et al.* 1988). Z databázy AISOP boli vybrané sondy v celkovom počte 16 636, pre ktoré boli dostupné profilové údaje o obsahu POC (%), ílu (%) a skeletu (%). AISOP neobsahuje údaj o objemovej hmotnosti pôdy, preto pre výpočet bola použitá pedotransferová funkcia (BERNOUX *et al.* 1998):

$$BD = 1,398 - 0,0047 * IL + 0,042 * POC \quad (1)$$

kde *BD* je objemová hmotnosť pôdy (g/cm³), *IL* je obsah fr. < 0,002 mm (%), ktorá bola vypočítaná z údajov AISOP ako $IL_{002} = 1,1503 * IL_{001} + 2,3676$ (NĚMEČEK *et al.* 2001) a *POC* je obsah organického uhlíka (%). Pre hĺbku 0–30 cm bol vypočítaný vážený priemer obsahu POC (%), objemovej hmotnosti (g/cm³) a obsahu skeletu (%). Hodnoty boli následne použité na výpočet zásoby POC:

$$OC = POC * BD * ((1 - SK/100) * d) \quad (2)$$

kde *OC* (t/ha) je zásoba POC, *POC* (%) je obsah organického uhlíka (%), *BD* je objemová hmotnosť pôdy (g/cm³), *SK* (%) je obsah skeletu (%) a *d* (cm) je hrúbka pôdy. Údaje o zásobe POC (t/ha) boli interpolované pomocou Theisenových polygónov. Na podklade vytvorených Theisenových polygónov boli vypočítané plošné vážené priemery zásoby POC pre bunky štvorcovej siete s rozlíšením 1 × 1 km.

Alternatívne hodnoty zásoby POC (1, 2) boli vypočítané ako priemerné hodnoty (medián) z údajov AISOP pre pôdne typologické jednotky pôdnej mapy Slovenska 1:400 000 (HRAŠKO *et al.* 1993) a následne priradené mapovacím jednotkám na základe dominantnej typologickej pôdnej jednotky.

Odhad POC pre lesné pôdy

Ako hlavný zdroj údajov pre lesné pôdy bolo použitých 112 pôdných profilov z pravidelnej 16 × 16 km siete monitoringu lesných pôd Slovenska (ČMS Lesy). Vzorkovanie a laboratórne analýzy pre predefinované hĺbkové intervaly 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm a 40–80 cm boli vykonané v rokoch 2006–2008. Ako doplnkový zdroj údajov boli použité údaje z pôdných profilov (cca 800) na plochách Národnej inventarizácie a monitoringu lesov (NIML), ktoré boli pre hĺbkové intervaly 0–10 cm a 10–20 cm vzorkované a analyzované v rokoch 2015 až 2017 (zatiaľ nie je ukončené). Celkový obsah uhlíka v pôde (%) bol stanovený pomocou analyzátoru (EA-TCD) a obsah organického uhlíka bol v prípade karbonátových pôd vypočítaný po redukcii o anorganický uhlík. Obsah skeletu v pôde (%) bol odhadnutý vizuálne pri opise pôdneho profilu. Objemová hmotnosť pôdy (g/cm³) bola priamo meraná v hĺbkach 0–10 cm a 10–20 cm, pre hlbšie ležiace horizonty bola vypočítaná pomocou upravenej pedotransfero-

vej funkcie podľa ADAMSA (EC-BioSoil 2006). Hodnota zásoby POC pre hĺbku 20–30 cm, ktorá nebola priamo meraná, bola prepočítaná z údajov pre hĺbku 20–40 cm pomocou koeficientov odvodených pre pôdne jednotky z iných dátových súborov. Ako vstup pre priestorovú interpoláciu vypočítaných hodnôt zásoby POC (1) boli použité mapovacie jednotky pôdnej mapy Slovenska 1:400 000 (HRAŠKO *et al.* 1993). Pre vybrané pôdne jednotky, pri ktorých bol pozorovaný vzťah zásoby POC a nadmorskej výšky bol pre výpočet výslednej hodnoty použitý navyše aj model nadmorských výšok. Priemerné zásoby POC pre bunky štvorcovej siete s rozlíšením 1 × 1 km boli vypočítané z podkladov ako plošne vážený priemer.

Zostavenie výsledného modelu POC

Pre každú bunku referenčnej štvorcovej siete 1 × 1 km bola určená trieda krajinej pokrývky z vrstvy bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (LINKEŠ *et al.* 1996): 1 poľnohospodárska pôda, 2 lesná pôda, 3 ostatná pôda (urbanizované územia, vodné plochy). Následne bola pre každú bunku identifikovaná plošne dominantná krajinná pokrývka. V prípade, že v bunke prevládala poľnohospodárska pôda, bola tejto bunke priradená hodnota zásoby POC odhadnutá pre poľnohospodárske pôdy. Podobne bunkám s prevládajúcou krajinnou pokrývkou les bola priradená hodnota odhadnutá pre lesné pôdy. Všetkým ostatným bunkám (prevládajúca ostatná pôda alebo nedostatočná hustota pozorovaní na poľnohospodárskej pôde) bola priradená alternatívna hodnota zásoby POC odhadnutá pre pôdne mapovacie jednotky pôdnej mapy Slovenska 1:400 000 a profilových údajov AISOP. Nulová hodnota zásoby POC bola priradená všetkým areálom litozemí podľa pôdnej mapy Slovenska 1:400 000, pretože táto mapovacia jednotka pokrýva predovšetkým vysokohorské polohy primárne bez pôdnej pokrývky (skaly, sneh).

Výpočet integrálnej zásoby SOC

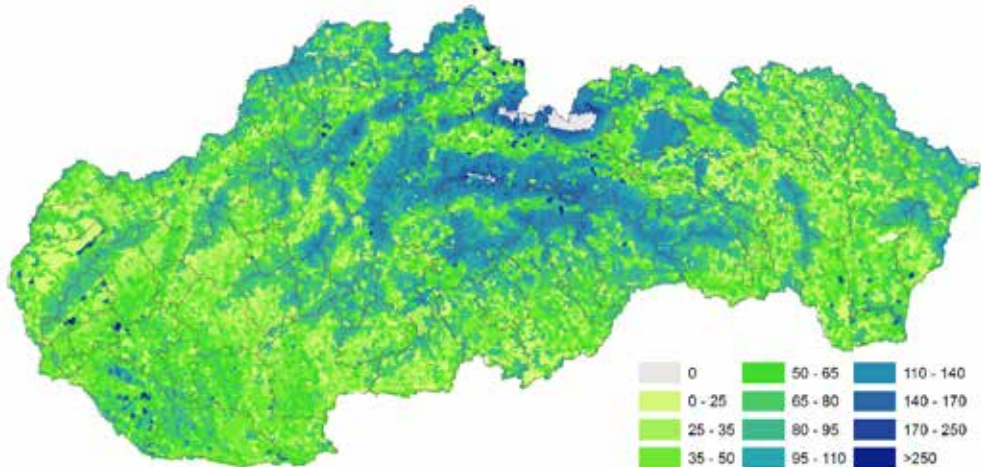
Integrálna zásoba POC (Mt) pre celé územie Slovenska bola vypočítaná na základe výmery poľnohospodárskej a lesnej pôdy pre každú bunku referenčnej štvorcovej siete 1 × 1 km odhadnutej z vrstvy bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek (LINKEŠ *et al.* 1996). Jednotková zásoba POC (t/ha) pre danú bunku a triedu krajinej pokrývky bola vynásobená výmerou pôdy (ha) a výsledné hodnoty zrátané pre všetky bunky 1 × 1 km štvorcovej siete.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

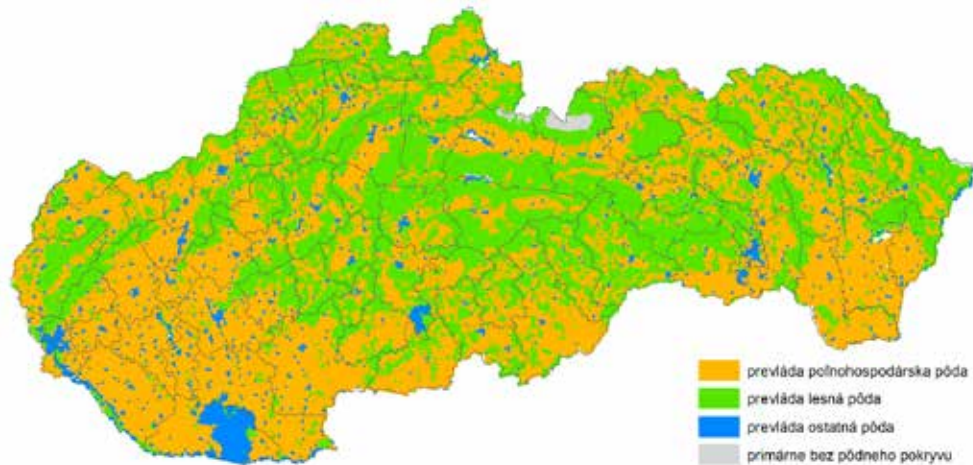
Na obrázku 1 je uvedená mapa zásoby POC (t/ha), ktorá bola spracovaná z podkladov o lesných a poľnohospodárskych pôdach a bola poskytnutá ako národný vstup za Slovenskú republiku pre zostavenie svetovej mapy POC (GSOC17). Dominantná trieda krajinej pokrývky a tým aj identifikácia zdrojov údajov pre odhad zásoby POC je uvedená na Obr. 2. Odhadované hodnoty zásoby POC (Tab. 1) sa pohybujú od 18 t/ha po 655 t/ha a priestorové rozloženie hodnôt je určené najmä výskytom lesnej a poľnohospodárskej pôdy. Táto vzorka sčasti rešpektuje aj prírodné podmienky Slovenska – s lesnatými oblasťami najmä v rámci Západných Karpát,

menej v oblasti nížin (Panónska panva). Zásoba POC v lesných pôdach je vyššia vo vyšších pohoriach. Plošne menej významné územia s vyššou zásobou POC sa viažu na výskyt organických pôd, či pôd s vyšším obsahom humusu (čiernice) aj v území poľnohospodárskych pôd.

Obrázok 1 Mapa zásoby POC (t/ha) v povrchovej vrstve (0–30 cm) pôd Slovenska



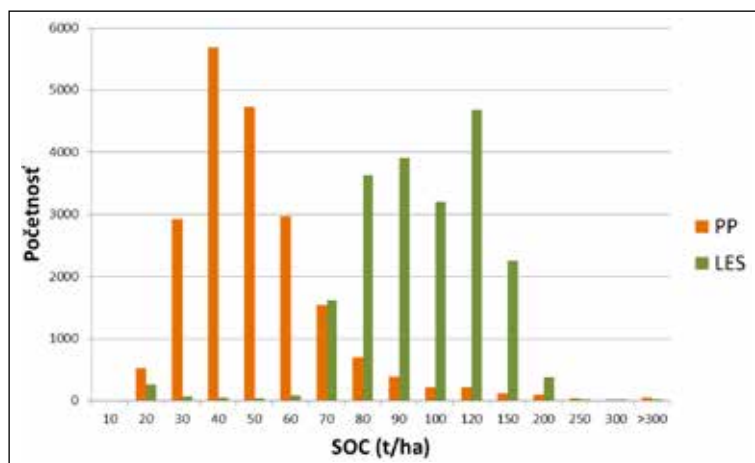
Obrázok 2 Dominantná trieda krajinej pokrývky pre 1 × 1 km štvorce a s ňou súvisiaci zdroj údajov pre odhad zásoby POC (kategória s prevládajúcou ostatnou pôdou zahŕňa aj územia s prevládajúcou poľnohospodárskou pôdou avšak s nedostatočnou hustotou dokumentovaných pozorovaní pôdy v AISOP)



Pri porovnaní rozdielov v odhadovaných hodnotách jednotkovej zásoby POC (t/ha) v rámci lesných a poľnohospodárskych pôd (Obr. 3) je zrejmé, že hodnoty zásoby POC sú v porovnaní s poľnohospodárskymi pôdami výrazne vyššie na lesných pôdach. Priemerná zásoba POC na poľnohospodárskych pôdach je 45,36 t/ha, zatiaľ čo na lesných pôdach je priemerná zásoba POC 94,21 t/ha, čo predstavuje dvojnásobok hodnoty na poľnohospodárskych pôdach (Tab. 1). Odhadované rozdiely v zásobe POC sú v súlade s pozorovaniami aj iných autorov z rôznych

oblastí Európy či sveta (ALVARO-FUENTES *et al.* 2011, WESEMAEL *et al.* 2010). Ich dôvodom je najmä dlhodobé intenzívne využívanie poľnohospodárskych pôd, ktoré vedie k poklesu obsahu POC v porovnaní s prírodnými ekosystémami (napr. GUO a GIFFORD 2002, JANZEN 2006, MINASNY *et al.* 2014), ale aj prirodzená klimaticky podmienená diferenciácia v hĺdka akumulácie pôdnej organickej hmoty (výrazne vyšší podiel lesov vo vyšších – chladnejších a vlhkejších polohách).

Obrázok 3 Rozdelenie početnosti odhadovaných hodnôt zásoby SOC (t/ha) pre poľnohospodárske a lesné pôdy



Integrálna zásoba POC v povrchovej vrstve (0–30 cm) pôd Slovenska bola odhadnutá na 302,13 Mt, pričom odhadovaná zásoba je o čosi nižšia na poľnohospodárskych pôdach 113,52 Mt ako na lesných pôdach 188,61 Mt a to aj napriek tomu, že výmera lesných pôd je podľa údajov z databázy bonitovaných pôdno-ekologických jednotiek nižšia ako výmera poľnohospodárskych pôd (20 509,1 km² oproti 25 619,2 km²) a súvisí s odhadovanými jednotkovými zásobami, ktoré sú vyššie pre lesné pôdy (Obr. 3, Tab. 1).

Tabuľka 1 Vybrané charakteristiky súboru odhadovaných hodnôt zásoby POC (t/ha) pre poľnohospodárske a lesné pôdy (početnosť vyjadruje počet štvorcov s danou triedou krajinnnej pokrývky)

	Min	Dolný kvartil	Medián	Priemer	Horný kvartil	Min	Početnosť
Poľnohospodárska pôda	18,00	31,91	40,32	45,36	51,82	655,00	26835,00
Lesná pôda	18,00	78,24	91,49	94,21	108,07	305,00	20202,00

Mapa zásoby POC (Obr. 1) predstavuje potenciálne veľmi významnú informáciu, ktorá môže tvoriť východisko pre monitoring emisie uhlíka v rámci medzinárodných aktivít zameraných na sledovanie vývoja a boj proti klimatickej zmene (napr. UNFCCC, UNCCD, SDG). Je preto dôležité uvedomiť si obmedzenia a neistoty, ktoré súčasná verzia odhadu prináša. Významnou neistotou odhadu je skutočnosť, že pozorovania na poľnohospodárskej pôde pochádzajú z obdobia rokov 1961–1970. Je známe, že za posledných 50 rokov došlo k vývoju a tieto hodnoty môžu byť v závislosti od typu pôdy dnes vyššie alebo nižšie (BARANČIKOVÁ *et al.*

2010). Odhad jednotkových zásob na lesných pôdach – aj keď vychádza z aktuálnych pozorovaní – je obmedzený pomerne malým počtom sond s podrobným hodnotením v celom pôdnom profile, ktoré nedostatočne reprezentujú priestorovú variabilitu pôdnej pokrývky v lesoch Slovenska. Inventarizácii aktuálnych zásob POC v rámci územia Slovenska je preto potrebné venovať ďalšiu pozornosť, a to tak na úrovni zberu nových aktuálnych údajov ako aj na úrovni metód spracovania výsledného priestorového odhadu ako sú metódy digitálneho mapovania pôdy s využitím údajov diaľkového prieskumu Zeme (napr. HENGL *et al.* 2017) prípadne aj procesného modelovania vývoja zásob POC v čase (na Slovensku napr. BARANČIKOVÁ *et al.* 2010, 2012, 2013).

ZÁVER

Z podkladov prieskumu poľnohospodárskych a lesných pôd a dostupných máp v podrobnej a prehľadnej mierke bol vytvorený model zásoby POC v povrchovej vrstve (0–30 cm) pôd Slovenska, ktorý bol poskytnutý ako národný vstup pre zostavenie svetovej mapy POC pod hlavičkou Svetového partnerstva o pôde – dobrovoľného združenia krajín v rámci FAO. Integrovaná zásoba POC v povrchovej vrstve pôd Slovenska bola odhadnutá na 302,13 Mt pričom jednotkové zásoby POC (t/ha) boli vyššie na lesných pôdach ako poľnohospodárskych pôdach, čo sa odrazilo aj v integrovaných zásobách pre lesné (188,61 Mt) a poľnohospodárske (113,52 Mt) pôdy. Súčasná verzia odhadu má obmedzenia na strane použitých údajov aj metód ich spracovania, preto bude potrebné problematike odhadu zásob POC venovať ďalšiu pozornosť, a to najmä preto, že tieto údaje sa môžu v budúcnosti stať záväzným východiskom pre monitoring emisií uhlíka na národnej úrovni v rámci medzinárodných aktivít zameraných na sledovanie a boj proti klimatickej zmene.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-131-11, APVV-0243-11 a APVV-14-0087

LITERATÚRA

- ALVARO-FUENTES, J. – EASTER, M. – CANTERO-MARTINEZ, C. – PAUSTIAN, K. 2011. Modelling soil organic carbon stocks and their changes in the northeast of Spain. *European Journal of Soil Science*, 62, 685–695.
- BANWART, S.A. – BLACK, H. – CAI, Z. – GICHERU, P.T. – JOOSTEN, H. – VICTORIA, R.L. – MILNE, E. – NOELLEMEYER, E. – PASCUAL, U. 2015. The global challenge for soil carbon. In: *Soil Carbon. Science, Management and Policy for Multiple Benefits* (eds. Banwart, S.A. – Noellemeier & Milne, E.), Oxfordshire, CABI, s 1–9.
- BARANČIKOVÁ, G. – HALÁS, J. – GUTTEKOVÁ, M. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – NOVÁKOVÁ, M. – SKALSKÝ, R. – TARASOVIČOVÁ, Z. 2010. Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. *Soil and Water Research*, 5, 1–9.
- BARANČIKOVÁ, G. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – SKALSKÝ, R. – TARASOVIČOVÁ, Z. – NOVÁKOVÁ, M. – HALAS,

- J. – GUTTEKOVÁ, M. – KOCO, Š. 2012. Simulation of Soil Organic Carbon Changes in Slovak Arable Land and their Environmental Aspects. *Soil and Water Research*, 7, 45–51.
- BARANČIKOVÁ, G. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – SKALSKÝ, R. – TARASOVIČOVÁ, Z. – NOVÁKOVÁ, M. – HALAS, J. – KOCO, Š. – GUTTEKOVÁ, M. 2013. Changes in organic carbon pool in agricultural soils and its different development in individual agro-climatic regions of Slovakia. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 59, 1–9.
- BARITZ, R. – SEUFERT, G. – MONTANARELLA, L. – VAN RANST, E. 2010. Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecology and Management* 260, s. 262–277
- BERNOUX, M. – D. ARROUYAS, C. CERRI, B. VOLKOFF – C. JOLIVET. 1998. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, s. 743–749.
- CAMPBELL, E. – PAUSTIAN, K. 2015. Current developments in soil organic matter modelling and the expansion of model applications: a review. *Environmental Research Letters*, 10, doi: 10.1088/1748–9326/10/12/123004.
- EEA reference grids [online]. Európska agentúra životného prostredia. c2013–2017, naposledy aktualizované 01/11/2017, Dostupné na internete < <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-2>>, Stránka navštívená 2. Marca 2018
- FRANK, S. – SCHMID, E. – HAVLIK, P. – SCHNEIDER, U. – BOTTCHEER, H. – BALKOVIČ, J. – OBERSTEINER, M. 2015. The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland. *Global Environmental Change*, 35, 269–278.
- GUO, L.B. – GIFFORD, R.M. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*, 8, 345–360.
- HENGL, T. – MENDES DE JESUS, J. – HEUVELINK, G.B.M. – RUIPEREZ GONZALEZ, M. – KILIBARDA, M. – BLAGOVIĆ, A. et al. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE* 12(2): e0169748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>
- HRAŠKO, J. – LINKEŠ, V. – ŠÁLY, R. – ŠURINA, B. 1993. *Pôdna mapa Slovenskej republiky 1:400 000*. Bratislava: Výskumný ústav pôdnej úrodnosti a Slovenský úrad geodézie, kartografie a katastra. 1 list, 110x60 cm.
- JANZEN, H.H. 2006. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 419–424.
- LINKEŠ, V. – GROMOVÁ, A. – LUPTÁK, D. – PESTÚN, V. – POLIAK, P. 1988. *Informačný systém o pôde*. Bratislava: PRÍRODA. 195 s.
- LINKEŠ, V. – PESTÚN, V. – DŽATKO, M. 1996. *Príručka pre používanie máp BPEJ*. Bratislava: Výskumný ústav pôdnej úrodnosti. 103 s. ISBN 80-85361-19-1
- MINASNY, B. – MCBRANDAN, A.B. – MALONE, B.P. – LACOSTE, M. – WALTER, C. 2014. Quantitatively predicting soil carbon across landscapes. In: *Soil Carbon* (eds. HARTEMINK, A. – MCSWEENEY, K.), Heidelberg, Springer Cham, s. 45–57.
- NĚMEČEK, J. – MACKŮ, J. – VOKOUN, J. – VAVŘÍČEK, D. – NOVÁK, P. 2001. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*, Praha: Česká zemědělská univerzita a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. 79 s. ISBN 80-238-8061-6
- SMITH, J. – SMITH, P. – WATTENBACH, M. – ZAEHLE, S. – HIEDERER, R. – JONES, R.J.A. – MONTANARELLA, L. – ROUNSEVELL, M.D.A. – REGINSTER, I. – EWERT, F. 2005. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990–2080, *Glob. Change Biol.* – 11, 2141–2152.
- STOLBOVOY, V. – MONTANARELLA, L. – FILIPPI, N. – SELVARADJOU, S.K. – PANAGOS, P. – GALLEGU, J. 2005. *Soil sampling protocol to certify the changes of organic soil carbon in mineral soils of European Union*. EUR 2156 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the EC, 2005. 12 s.
- EC-BIOSOIL, 2006. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*, Part IIIa - Manual adaptations for soil sampling and analysis for BioSoil Project. Ispra: European Commission Joint Research Centre. 130 s.
- VAN WESEMAEL, B. – PAUSTIAN, K. – MEERSMANS, J. – GOIDTS, E. – BARANČIKOVÁ, G. – EASTER, M. 2010. Agricultural management explains historic changes in regional soil carbon stocks. *PNAS*, 107, 4926–4930.
- VANGUELOVA, E. I. – BONIFACIO, E. – DE VOS, B. – HOOSBEEK, M.R. – BERGER, T.W. – VESTERDAL, L. – ARMOLAITIS, K. – CELI, L. – DINCA, L. – KJØNAAS, O.J. – PAVLENDÁ, P. – PUMPANEN, J. – PÜTTSEPP Ü. – REIDY, B. – SIMONČIČ, P. – TOBIN, B. & ZHIYANSKI, M. 2016. Sources of errors and uncertainties in the assessment of forest soil carbon stocks at different scales—review and recommendations. *Environ Monit Assess* 188:630-11

VPLYV VYBRANÝCH PŮDNYCH PARAMETROV NA REGULAČNÚ AGROEKOSYSTÉMOVÚ SLUŽBU – AKUMULÁCIU VODY V PŮDE

INFLUENCE OF SELECTED SOIL PARAMETERS ON REGULATING AGROECOSYSTEM SERVICE — WATER ACUMULATION IN SOIL

Miloš Širáň, Jarmila Makovníková

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

Abstrakt

Príspevok je zameraný na potenciál ekosystémových služieb, ktorý poskytuje agroekosystém v súvislosti s využívaním pôdy. Koncept ekosystémových služieb sa stal dôležitým nástrojom na modelovanie interakcií medzi ekosystémami a ich vonkajším prostredím v podmienkach globálnych bioklimatických zmien. Poskytovanie ekosystémových služieb závisí od biofyzikálnych podmienok a zmien krajiny pokrývky a využitia krajiny v priestore a čase prostredníctvom človeka. Agroekosystémy sú schopné plniť základné ľudské potreby, ako sú produkcia potravín a surovín. Podľa viacerých autorov agroekosystémy môžu poskytovať aj iné regulačné a kultúrne služby pre ľudské komunity okrem zásobovacích služieb a služieb na podporu poskytovania služieb. V agroekosystémoch je regulácia vodného režimu (zásoba vody) jednou z hlavných regulačných služieb. Vyhodnotených bolo sedem poľnohospodársky využívaných plôch, nachádzajúcich sa v rôznych prírodných podmienkach Slovenska, z ktorých každá má dve rozdielne kategórie využívania pôdy (orná pôda a trávne porasty). Najvyšší potenciál akumulovať vodu má hlboká, ílovitá pôda, najnižší piesočnatá, slabo skeletovitá pôda s nízkym obsahom humusu. Vysoké hodnoty retenčnej vodnej kapacity sú dosahované v pôdach s vysokým obsahom humusu ($C_{ox} > 20 \text{ g.kg}^{-1}$), no potenciál akumulácie vody je tu často limitovaný prítomnosťou skeletu a hĺbkou. Retenčná vodná kapacita je v pozitívnej korelácii s obsahom ílu (preukazne $P < 0,05$ v oboch hĺbkach 0–10 a 35–45 cm v trávnych ekosystémoch; $r = 0,70$ resp. $r = 0,77$ a aj celkovo pri hodnotení spolu ekosystémov orných pôd a trávnych porastov; $r = 0,61$ resp. $r = 0,66$), s obsahom celkového organického uhlíka (preukazne $P < 0,05$ v hĺbke 0–10 cm celkovo za ekosystémy spolu; $r = 0,65$) ako aj výmennou pôdnou reakciou (pH/KCl) a v negatívnej korelácii s objemovou hmotnosťou pôdy (preukazne $P < 0,05$ v oboch hĺbkach celkovo za ekosystémy spolu; $r = -0,65$ resp. $r = -0,62$). Výraznejší vplyv celkového organického uhlíka a ílu na hodnoty retenčnej vodnej kapacity bol v ekosystémoch orných pôd, kým vplyv objemovej hmotnosti pôdy a výmennej pôdnej reakcie v ekosystémoch trávnych porastov.

Kľúčové slová: retenčná vodná kapacita, zrnitosť, obsah ílovej frakcie, skeletovitosť, pôdny organický uhlík, objemová hmotnosť, potenciál, ekosystémové služby, využitie krajiny

Abstract

The paper focuses on the potential of ecosystem services provided by the agro-ecosystem in relation to land use. The concept of ecosystem services has become an important tool for modelling interactions between ecosystems and their external environment in terms of global bioclimatic changes. The provision of ecosystem services depends on biophysical conditions and changes over space and time due to human induced land cover and land use. Agroecosystems are managed to fulfil basic human needs, such as food and raw materials. According to several authors, agroecosystems can also provide other regulatory and cultural services to human communities, in addition to supply and service support services. In the agroecosystems regulation of water regime (water storage) is one of main regulation services. Seven agricultural study areas, each of them with two different land use categories (arable land and grasslands) located in various natural conditions of Slovakia, were evaluated. Thick and clay soils have the highest potential to accumulate water and on the other site, the lowest potential has sandy, slightly skeletal soil with low humus content. High-values of water retention capacity are achieved in soils rich in humus ($C_{ox} > 20 \text{ g.kg}^{-1}$), but the potential of water accumulation there is often limited by the soil depth and the presence of skeleton. Water retention capacity of soil is positively correlated with clay content (significantly $P < 0.05$ in both depths 0–10 and 35–45 cm in soil of grassland ecosystems and also for ecosystems together - arable lands and grasslands), with total organic carbon (significantly $P < 0.05$ in soil depth of 0–10 cm totally for ecosystems together) as well as with pH value. Negative correlation was determined between water retention capacity and soil bulk density (significantly $P < 0.05$ in both depths totally for ecosystems together). The influence of total organic carbon and clay on water retention capacity was higher in ecosystems of arable land, while the influence of soil bulk density and pH value was higher in grassland ecosystems.

Keywords: water retention capacity, texture, clay content, skeleton, organic carbon, bulk density, ecosystem service potential, land use

ÚVOD

Ekosystémové služby sú definované ako prospešné toky plynúce z prírodných kapitálových zásob a naplňajúce ľudské potreby. Koncept ekosystémových služieb je významným nástrojom modelovania interakcií medzi ekosystémami a ich vonkajším prostredím v podmienkach globálnych bioklimatických zmien. Cieľom hodnotenia a ocenenia ekosystémových služieb je prispieť k prehľadnému významu ekosystémov pre spoločnosť začlenením ich ekonomického hodnotenia do rozhodovacích rámcov (MAES *et al.*, 2011, NIETO-ROMERO *et al.*, 2013, BURKHARD *et al.*, 2014). Ekosystémové služby naviazané na prírodný kapitál, pôdu (agro-

kosystémové služby), možno rozdeliť do troch základných skupín, a to zásobovacie (provízne), regulačné a kultúrne služby (DOMINATI *et al.*, 2010). Regulačné služby umožňujú život v stabilnom, odolnom a zdravom životnom prostredí (zmiernenie povodní, filtrovanie živín, biologická detoxikácia, čistenie vody, odstraňovanie znečistenín, sekvestrácia C). Regulácia vodného režimu, akumulácia vody v pôde, patrí podľa MEA (2005) medzi regulačné agroekosystémové služby, ktoré môžu mať globálny dosah (COSTANZA, 2008). Na regulácii vodného režimu v krajine sa podieľajú všetky ekosystémy, ovplyvňujú hydrologický cyklus krajiny a tým aj stabilitu krajiny. Regulácia vodného režimu predstavuje distribúciu vody, udržanie vody, kolobeh vody pre všetky ekosystémy a reguláciu záplav.

Dostupnosť vody v agroekosystéme závisí nielen na infiltrácii a prietoku ale predovšetkým na jej akumulácii v pôde (POWER, 2010). Schopnosť pôdy (potenciál) akumulovať vodu závisí od parametrov pôdy (zrornosť pôdy, mineralogické zloženie pôdy, kvalita a usporiadanie pôdných horizontov, zhutnenie pôdy resp. objemová hmotnosť, štruktúra pôdy, obsah a kvalita organickej hmoty) a od vlastností prostredia (reliéf, svahovitosť, klíma, zrážky, hladina podzemnej vody) (BUJNOVSKÝ *et al.*, 2009). Retenčná vodná kapacita (RVK) určuje do akej miery je pôda schopná zadržiavať vo svojom profile vodu dlhší čas. Pri hodnotení akumulácie vody v pôde sa používa RVK vyjadrená v objemových percentách (BRODOVÁ, 2008, BUJNOVSKÝ *et al.*, 2009, MATI *et al.*, 2009, HRIVŇÁKOVÁ *et al.*, 2011). Retenčná vodná kapacita závisí predovšetkým od pôdneho druhu (od textúry pôdy), typu a hĺbky pôdy. Najväčšiu schopnosť pútať vodu majú ílová frakcia a humus, pričom táto schopnosť závisí nielen od ich množstva ale aj kvality. Vododržnosť pôdy negatívne ovplyvňuje vyšší obsah skeletu v pôde (DAMAŠKA, 1987). Pôdny typ (SPS, 2014) charakterizuje priestorovú variabilitu pôdnej textúry v krajine, ako aj smerom do hĺbky pôdneho profilu prostredníctvom vyčlenenia pôdných horizontov (určenie ich hrúbky, kvality a usporiadania), ktoré zachytávajú spravidla pokles humusu, nárast ílu, príp. pôdneho skeletu s hĺbkou.

Cieľom tohto príspevku je vyhodnotiť potenciál akumulácie vody v pôdach rôznych pôdno-ekologických regiónov Slovenska v závislosti na vybraných pôdných parametroch.

MATERIÁL A METÓDY

Potenciál akumulácie vody sme hodnotili na siedmich modelových plochách v rôznych pôdno-ekologických regiónoch Slovenska (Tab. 1). Fyzikálne vlastnosti pôdy (Tab. 2 a 3) sú zastúpené v širokom rozsahu: piesočnaté až ílovité, bezskeletnaté až stredne skeletnaté pôdy s nízkym až vysokým obsahom humusu. Na každej ploche sme vybrali dve lokality (kruhové plochy s polomerom 10 m, stred zvolenej lokality bol zameraný súradnicami pomocou GPS) reprezentujúce ekosystém orných pôd s jednoročnou plodinou a ekosystém trávnych porastov. Vzorky pôdy boli odoberané na jar dva roky po sebe v dvoch hĺbkach (0–10 cm a 35–45 cm) a v 4 opakovaníach.

Potenciál akumulácie vody v pôde sme modelovali a hodnotili cez retenčnú vodnú kapacitu (RVK) prepočítanej na zásoby vody v pôde v mm v kontexte s hĺbkou (maximálne do 1 m) a skeletovitosťou pôdy. RVK patrí k základným hydrofyzikálnym charakteristikám pôdy a bola

stanovená v neporušenej pŔdnej vzorke odobratej v Kopeckého fyzikálnych valcoch o objeme 100 cm³. Jej hodnota zodpovedá objemu vody, ktorú pŔda zadrží po 24 hodinách odsávania v laboratórnych podmienkach od stavu jej plného nasýtenia. Po jej vysušení pri 105 °C do konštantnej hmotnosti bola získaná objemová hmotnosť pŔdy redukovaná. Zrnitostné zloženie pŔdy bolo stanovené pipetovacou metódou, celkový uhlík suchou cestou pomocou C,N analyzátora a výmenná pŔdna reakcia (pH/KCl) potenciometricky (HRIVŔŔÁKOVÁ *et al.*, 2011).

Získané výsledky boli vyhodnotené štatisticky korelačnou analýzou s použitím softwaru Statgraphic Centurion.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Najvyšší potenciál akumulácie vody (>350 mm) má ekosystém orných pŔd na lokalitách Stráňany a Medovarce (Obr. 1). Na lokalite Stráňany je hlboká, ťažká, ílovitá a bezskeletovitá pŔda. Na vysokej vododržnosti pŔdy na tejto lokalite sa podieľa predovšetkým vysoký obsah ílu. Vysoké hodnoty RVK pre ťažké pŔdy Východoslovenskej nížiny, kde sa nachádza lokalita Stráňany, uvádzajú vo svojej práci aj MATI *et al.* (2009). Retenčná vodná kapacita pri hlbokých pŔdach Východoslovenskej nížiny predstavuje až 286,03 – 420,71 mm, teda v prepočte na hektár 2 860 – 4 207 m³ (MATI *et al.*, 2009). PŔda v ekosystéme trávneho porastu sa i napriek vyššiemu obsahu humusu vyznačuje nižšou akumuláciou vody v dôsledku nižšieho obsahu ílu a výskytu štrkového skeletu hlavne v hlbších vrstvách.

Na lokalite Medovarce využíwanej ako orná pŔda je hlboká fluvizem s obsahom ílu v intervale stredne ťažkých, piesčito-hlinitých pŔdných druhov (na rozhraní s hlinitými pŔdami) a bez skeletu. Zníženie potenciálu akumulácie vody v trávnom ekosystéme je spôsobený výskytom skeletu a vyššou objemovou hmotnosťou, ktorá sa prejavuje nižšou celkovou pórovitosťou (LHOTSKÝ, 2000). Správny manažment agroekosystémov môže ovplyvniť reguláciu vodného režimu vhodným kyprením povrchu pŔdy, pričom dôležitá je aj hĺbka nakyprenej vrstvy, ktorá ovplyvňuje rýchlosť a množstvo infiltrovanej vody (REHÁK a JANSKÝ, 2000). Obrábaním, ktoré je zamerané na zmenu objemovej hmotnosti, sa ovplyvňuje aj výška a intenzita vzĺnania vody.

Do kategórie vysokého potenciálu patria aj lokality Zeleneč, Tajov a Vikartovce ako hlinité pŔdne druhy. Lokalita Zeleneč sa nachádza na hlbokej černoze s kvalitným humusovým horizontom. Mierne vyššia akumulácia bola zaznamenaná pod trávny porastom s vyšším obsahom humusu. Na lokalite Tajov využíwanej ako orná pŔda je hlboká, slabo skeletnatá pŔda, ktorá obsahuje v povrchovom horizonte 5 % skeletu a v podpovrchovom horizonte 10 % skeletu, s prevahou stredného štrku veľkosti 0,6 – 2 cm. Potenciál akumulácie v trávnom ekosystéme s výrazne humóznejšou pŔdou a vysokou retenčnou vodnou kapacitou je limitovaný hĺbkou pŔdy. Na lokalite Vikartovce je vysoko humózná pŔda s obmedzenou hĺbkou a strednou skeletovitosťou. Väčšiu schopnosť akumulovať vodu má spustnutá orná pŔda s vyšším obsahom humusu v hlbších vrstvách pŔdy.

Stredný potenciál akumulovať vodu v pŔde má ekosystém na ornej pŔde na lokalite Čoltovo, kde je ílovito-hlinitá, slabo až stredne skeletovitá pŔda (povrchový horizont má 25 %

Tabuľka 1 Pôdnoekologické podmienky na lokalitách

Lokalita	Strážany	Medovarce	Závod	Zeleneč	Čoltovo	Tajov	Vikartovce
Geomorfologické jednotky	Východoslov. pahorkatina	Krupinská planina	Borská nížina	Podunajská pahorkatina	Slovenský kras	Kremnické vrchy	Nízke Tatry
Nadmorská výška [m n.m.]	121	151	170	136	354	647	945
Z (mm) (1)	559	606	525	560	620	795	950
T (°C) (2)	8,9	8,7	9,2	9,5	8,6	8,1	6,2
Klimatický okres	teplý, mierne suchý s chladnou zimou (T5)	teplý, mierne suchý s miernou zimou (T4)	teplý, mierne vlhký s miernou zimou (T6)	teplý, suchý s miernou zimou (T2), s dlhším snež. sviatom	teplý, mierne vlhký s chladnou zimou (T7)	mierne teplý (M7), veľmi vlhký vrchovinový	mierne chladný (C1)
Sklon v stupňoch	0	0	2	2	7	2	5
Pôdny typ	fluvizem	fluvizem	regozem	černozem	kambizem	kambizem	rendzina
Orná pôda – plodina	jačmeň dvojradový	pšenica letná f. ozimná	raž ozimná	jačmeň dvojradový	kukurica na siláž	kukurica na siláž	spužnatá
Trávny porast – manažment	lúka, pasienok	lúka	lúka	lúka, pasienok	lúka	pasienok	lúka, pasienok
Geologický substrát	fluvialne sedimenty	fluvialne sedimenty	viate piesky nekarbonátové	spraš	svahoviny s nekarbonát. skeletom	vulkanity	vápence a dolomity

(1) dlhodobý ročný priemer zrážok, (2) dlhodobý ročný priemer denných teplôt

skeletu, podpovrchový horizont má 40 % skeletu s prevahou stredného štrku veľkosti 0,6–2 cm) na svahu ovplyvnená eróziou (zmyv prachovej a pieskovej frakcie) a obmedzená hĺbkou. Výrazne vyššie hodnoty retenčnej vodnej kapacity boli namerané v pôde trávneho ekosystému s výrazne nižším obsahom skeletu, vyšším obsahom humusu v hornej časti pôdneho profilu a ílu v eróziu odkrytých hlbších ílovitých vrstvách.

Nízky potenciál akumulovať vodu v pôde má lokalita Závod, regozem vyvinutá na viatych pieskoch, kde je ľahká, piesočnatá pôda s veľmi nízkym obsahom ílu a humusu nízkej kvality, slabo skeletovitá (povrchový horizont 5 %, podpovrchový 15 % skeletu) s prevahou stredného štrku veľkosti 0,6–2 cm. Väčšiu schopnosť zadržať vodu má pôda v ekosystéme trávneho porastu bez skeletu s vyšším obsahom humusu v hlbších horizontoch. RAWLS *et al.* (2003) zistil pre pôdy USA nárast retencie vody pôdou so zvyšovaním pôdneho organického uhlíka, pričom tento nárast bol intenzívnejší v piesočnatých pôdach.

Korelačná analýza medzi retenčnou vodnou kapacitou a vybranými pôdnymi parametrami (Tab. 4) podľa jednotlivých ekosystémov a hĺbok ukazuje na jej pozitívnu koreláciu s obsahom ílu (častice <0,01 mm), celkového organického uhlíka ako aj výmennou pôdnou reakciou (pH/KCl) a negatívnu koreláciu s objemovou hmotnosťou pôdy. Preukazné korelačné koeficienty ($P < 0,05$) boli zaznamenané v prípade jednotlivých ekosystémov len pri korelacii RVK s ílom v ekosystéme trávnych porastov (hĺbka 0–10 cm aj 35–45 cm) a v prípade hodnotenia ekosystémov spolu pri korelacii s obsahom ílu a objemovou hmotnosťou pôdy (hĺbka 0–10 cm aj 35–45 cm) ako aj s obsahom celkového organického uhlíka (hĺbka 0–10 cm). Pozitívna korelácia závislosti RVK s obsahom ílu a objemovou hmotnosťou pôdy bola zistená v celom pôdnom profile. Korelačné koeficienty medzi RVK a celkovým organickým uhlíkom a hodnotou pôdnej reakcie sú vyššie v humusovom horizonte. Vplyv pH môže byť nepriamy cez stabilnejšiu pôdnu štruktúru, veľkosť a rozmiestnenie pórov (FULAJTÁR, 2006). Z hľadiska jednotlivých ekosystémov vplyv objemovej hmotnosti pôdy a výmennej pôdnej reakcie na hodnoty RVK je výraznejší v ekosystémoch orných pôd, vplyv C_{ox} a ílu v ekosystémoch trávnych porastov.

Tabuľka 2 Priemerné hodnoty vybraných pôdnych parametrov v ekosystémoch orných pôd

Lokalita	Hĺbka pôdy (cm)	Skelet (%)	% ílu (častice <0,01mm)	OH (g.cm ⁻³)	C_{ox} v (g.kg ⁻¹)	pH/KCl	RVK (obj. %)
Strážany	0–10	0	65	1,31	16,67	5,51	40,2
	35–45	0	72	1,46	11,82	5,99	42,4
Medovarce	0–10	0	28	1,38	13,54	6,04	37,1
	35–45	0	31	1,39	7,87	6,06	35,5
Závod	0–10	5	6	1,46	7,43	4,58	18,7
	35–45	15	7	1,65	1,58	4,53	19,0
Zeleneč	0–10	0	40	1,40	15,89	7,18	33,7
	35–45	0	41	1,42	12,11	7,21	29,7
Čoltovo	0–10	25	50	1,52	8,15	4,84	26,2
	35–45	40	55	1,61	7,73	4,89	27,5

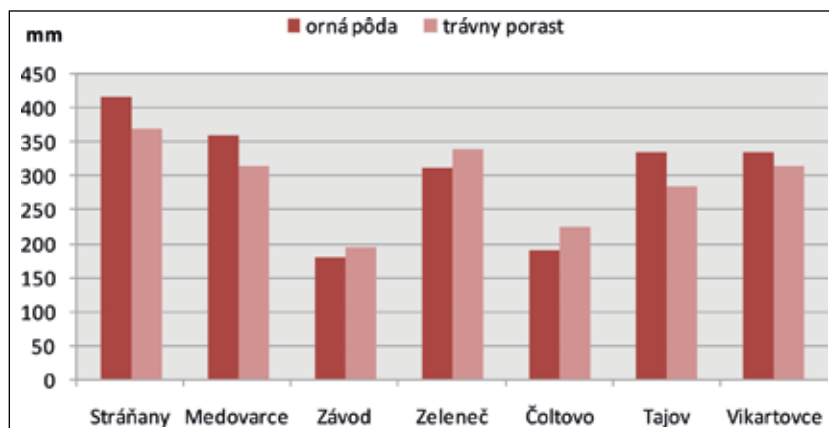
Lokalita	Hĺbka pôdy (cm)	Skelet (%)	% ílu (častice <0,01mm)	OH (g.cm ⁻³)	C _{ox} v (g.kg ⁻¹)	pH/KCl	RVK (obj. %)
Tajov	0–10	5	31	1,28	15,45	4,84	33,3
	35–45	10	40	1,54	6,15	3,84	33,6
Vikartovce	0–10	15	26	1,07	45,30	7,08	38,2
	35–45	30	19	1,21	57,90	7,10	36,7

Tabuľka 3 Priemerné hodnoty pôdných parametrov v ekosystémoch trávnych porastov

Lokalita	Hĺbka pôdy (cm)	Skelet (%)	% ílu (častice <0,01mm)	OH (g.cm ⁻³)	C _{ox} v (g.kg ⁻¹)	pH/KCl	RVK (obj. %)
Strážany	0–10	5	55	1,30	23,18	7,18	41,9
	35–45	25	58	1,34	9,51	7,25	34,8
Medovarce	0–10	5	28	1,56	13,87	5,08	34,7
	35–45	10	31	1,52	8,25	5,26	35,0
Závod	0–10	0	6	1,55	4,05	3,94	16,7
	35–45	0	7	1,62	1,90	3,95	20,8
Zeleneč	0–10	0	40	1,35	29,55	7,36	35,7
	35–45	0	41	1,42	18,94	7,53	32,7
Čoltovo	0–10	5	59	1,43	21,52	5,14	37,4
	35–45	10	70	1,46	7,25	4,78	39,1
Tajov	0–10	5	31	1,16	42,30	4,19	42,8
	35–45	15	45	1,29	21,30	4,48	39,0
Vikartovce	0–10	15	26	1,12	51,30	6,94	38,4
	35–45	30	19	1,21	23,40	7,13	33,4

Tabuľka 4 Závislosť medzi retenčnou vodnou kapacitou a vybranými pôdnymi parametrami

Ekosystém Parameter/hĺbka	Orná pôda		Trávny porast		Ekosystémy spolu	
	0 – 10 cm	35 –45 cm	0 – 10 cm	35 –45 cm	0 – 10 cm	35 –45 cm
OH (5)	-0,65	-0,64	-0,67	-0,57	-0,65*	-0,62*
pH/KCl	0,61	0,41	0,47	0,18	0,50	0,29
C _{ox} (6)	0,56	0,39	0,69	0,45	0,65*	0,38
íl (7)	0,54	0,57	0,70*	0,77*	0,61*	0,66*

Obrázok 1 Zásoba pŔdnej vody v mm na lokalitách podľa ekosystémov

ZÁVER

Najvyšší potenciál akumulovať vodu má hlboká, íloovitá pŔda, najnižší piesočnatá, slabo skeletovitá pŔda s nízkym obsahom humusu. Vysoké hodnoty retenčnej vodnej kapacity sú dosahované v pŔdach s vysokým obsahom humusu ($C_{ox} > 20 \text{ g.kg}^{-1}$), no potenciál akumulácie vody je tu často limitovaný prítomnosťou skeletu a hĺbkou.

Retenčná vodná kapacita je v pozitívnej korelácii s obsahom ílu (preukazne $P < 0,05$ v oboch hĺbkach 0–10 a 35–45 cm v trávnych ekosystémoch; $r = 0,70$ resp. $r = 0,77$ a aj celkovo pri hodnotení spolu ekosystémov orných pŔd a trávnych porastov; $r = 0,61$ resp. $r = 0,66$), celkového organického uhlíka (preukazne $P < 0,05$ v hĺbke 0–10 cm celkovo za ekosystémy spolu; $r = 0,65$) ako aj s výmennou pŔdnou reakciou (pH/KCl) a v negatívnej korelácii s objemovou hmotnosťou pŔdy (preukazne $P < 0,05$ v oboch hĺbkach celkovo za ekosystémy spolu; $r = -0,65$ resp. $r = -0,62$). Výraznejší vplyv celkového organického uhlíka a ílu na hodnoty retenčnej vodnej kapacity bol v ekosystémoch orných pŔd, kým vplyv objemovej hmotnosti pŔdy a výmennej pŔdnej reakcie v ekosystémoch trávnych porastov.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0098-12.

LITERATŔRA

- BRODOVÁ, M. 2008. Ohodnocovanie environmentálnych funkcií poľnohospodárskej pŔdy. *Ekonomika poľnohospodárstva*, 8(4). s. 53–58.
- BUJNOVSKÝ, R. – BALKOVIČ, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – MAKOVŔIKOVÁ, J. – VILČEK, J. 2009. *Hodnotenie a*

- očeňovanie ekologických funkcií poľnohospodárskych pôd Slovenska. Bratislava: VÚPOP. 72 s. ISBN 978-80-89128-56-3.
- BURKHARD, B. – KANDZIORAI, M. S. – MÜLLER, F. 2014. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification. Official Journal of the International Association for Landscape Ecology – Regional Chapter Germany (IALE-D). Available at <http://www.landscapeonline.de/103097lo201434>
- COSTANZA, R. 2008. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 141, s. 350–352.
- DAMAŠKA, J. 1987. Skeletovitost, jako limitující faktor úrodnosti zemědělských půd. *Rostlinná výroba*, 33, s. 785–79.
- DOMINATI, E. – PATTERSON, M. – MACKAY, A. 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69, s.1858–1868.
- FULAJTÁR, E. 2006. *Fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava: VUPOP. 142 s. ISBN 80-89128-20-3.
- HOUŠKOVÁ, B. 2011. Retenčná kapacita poľnohospodárskych pôd Slovenska. *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdozvedectva a ochrany pôdy*, 33, s. 72–77. ISBN 978-80-89128-91-4.
- HRIVŇÁKOVÁ, K. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – BARANČIKOVÁ, G. – BEZÁK, P. – BEZÁKOVÁ, Z. – DODOK, R. – CHLPÍK, J. – KOBZA, J. – LIŠTJAK, M. – MALIŠ, J. – PÍŠ, V. – SCHLOSSEROVÁ, J. – SLÁVIK, O. – STYK, J. – ŠIRÁŇ, M. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Bratislava: VUPOP. 145 s. ISBN 978-80-89128-89-1
- LHOTSKÝ, J. 2000. *Zhutňovanie pôd a opatrení proti němu*. Praha: ÚZPI. 66 s..
- MAES J. – BRAAT L. – JAX K. – HUTCHINS M. – FURMAN E. – TERMANSEN M. – LUQUE S. – PARACCHINI M. L. – CHAUVIN C. – WILLIAMS R. – VOLK M. *et al.* 2011. A spatial assessment of ecosystem services in Europe: methods, case studies and policy analysis—phase 1. *PEER Report no. 3*. Ispra: Partnership for European Environmental Research. ISBN 978–92-79–20908-6 (pdf). doi: 10.2788/41581
- MATI, R. – KOTOROVÁ, D. – NAŠČÁKOVÁ, J. 2009. Evaluation and pricing of soil water-retention capacities in the East-Slovak Lowland. *Agriculture*, 55, 4.s. 189–196.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA) 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet: Summary for Decision Makers. *The Millennium Ecosystem Assessment Series*, Volume 5, Island Press, Washington DC.
- NIETO-ROMERO, M. – OTEROS-ROZAS, E. – GONZÁLES, J. A. – MARTIN-LÓPEZ, B. 2013. Exploring the knowledge landscape of ecosystem services assessments in Mediterranean agroecosystems: Insights for future research. *Environmental Science & Policy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.003>.
- POWER, A. G. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2959–2971. doi: 10.1098/rstb.2010.0143
- RAWLS, W.J. – PACHEPSKY, Y.A. – RITCHIE, J.C. – SOBECKI, T.M. – BLOODWORTH, H. 2003. Effect of organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116, s. 61–76.
- REHÁK, Š. – JANSKÝ L. 2000. *Fyzika pôdy I. Základné fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava: UK, 2000. 108 s. ISBN 80-223-1544-3.
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. Druhé upravené vydanie*. Bratislava: NPPC – VÚPOP, 2014. 96 s. ISBN: 978-80-8163-005-7.

ZHODNOTENIE ZMIEN KLIMATICKÝCH INDIKÁTOROV V OBDOBÍ 1961 – 1990 A 1991 – 2016 PRE POTREBY AKTUALIZÁCIE AGROKLIMATICKÝCH REGIÓNOV

EVALUATION OF CHANGES THE CLIMATE INDICATORS IN PERIOD 1961 – 1990 AND 1991 – 2016 FOR THE NEED FOR THE UPDATE OF AGRO-CLIMATIC REGIONS

Jozef Takáč, Pavol Bezák, Blanka Ilavská

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

ABSTRAKT

Polnohospodárstvo a hospodárenie v krajine je ovplyvnené priamo aj nepriamo klimatickými pomermi. Priamy vplyv zahŕňa pôsobenie agroklimatických činiteľov, ktoré určujú a podmieňujú produkčný potenciál poľnohospodárskych pôd. Z porovnania jednotlivých klimatických charakteristík a indexov v obdobiach 1961 – 1990 a 1991 – 2016 vyplýva jednoznačná potreba aktualizácie agroklimatickej regionalizácie. Agroklimatická regionalizácia by teda mala zohľadňovať nové pomery vyplývajúce z globálnych zmien klímy.

Kľúčové slová: klimatická regionalizácia, BPEJ, vodná bilancia, vegetačné obdobie

ABSTRACT

Agriculture and farming in the country are affected directly and indirectly by climatic conditions. Direct impacts include the action of agro-climatic factors that determine and condition the production potential of agricultural land. Comparison of individual climatic characteristics and indices in the periods 1961 – 1990 and 1991 – 2016 results in acute need to update agro-climatic regionalization. Agro-climatic regionalization should therefore take into account the new conditions resulting from global climate change.

Keywords: climatic regionalization, BPEJ, water balance, vegetation period

ÚVOD

Kvalita pôdy a jej hygienický stav ovplyvňuje v rámci potravinového reťazca kvalitu rastlinnej a živočíšnej produkcie a tým kvalitu potravín. Uvedené jednoznačne poukazuje na strategický význam informácií o pôde na akejkoľvek úrovni od vlastníka/užívateľa pôdy cez riadiace

orgány regiónov, štátov až po globálnu úroveň. Pre účely praktického uplatnenia poznatkov o produkčnom potenciáli, mimoprodukčných funkciách pôdy a celkovej kvalite pôdy je východiskovým podkladom systém bonitovaných pôdnoekologických jednotiek (BPEJ) SR. Význam bonitačného informačného systému je zjavný hlavne z jeho priameho naviazania na súčasnú legislatívu v oblasti ochrany poľnohospodárskej pôdy a pozemkových úprav a taktiež nepriamej väzby na údaje o LFA, nitrátovej direktíve a pod. Poľnohospodárstvo a hospodárenie v krajine je ovplyvnené priamo aj nepriamo klimatickými pomermi. Priamy vplyv zahŕňa pôsobenie agroklimatických činiteľov, ktoré určujú a podmieňujú produkčný potenciál poľnohospodárskych pôd. Klimatické regióny pre účely bonitácie poľnohospodárskych pôd predstavujú územia s približne rovnakými klimatickými podmienkami pre rast a vývoj poľnohospodárskych plodín. Pri tvorbe BPEJ bolo v prvej etape vymedzených 10 klimatických regiónov (KR) (od roku 1989 11 KR), ktoré charakterizujú oblasti so zhodnými alebo podobnými klimatickými podmienkami pre vývoj a rast poľnohospodárskych plodín.

Najdôležitejšími klimatickými činiteľmi determinujúcimi úrody sú slnečné žiarenie, teplota a zrážky. Podľa 6. národnej správy SR o zmene klímy (2013) za obdobie 1881 – 2012 vzrástla ročná teplota vzduchu na Slovensku v priemere o 1,8 °C. Priemerná ročná teplota vzduchu bola v Hurbanove v období 1991 – 2010 o 0,9 °C vyššia ako v normálovom období 1961 – 1990, pričom nárast teploty bol vyšší v letnom polroku, a to o 1,1 °C, kým v chladnom polroku len o 0,7 °C. Ročné zrážkové úhrny za obdobie 1881 – 2012 poklesli na Slovensku v priemere o 1,3 %, pričom na juhu Slovenska bol pokles aj o viac ako 10 %. Zrážkové úhrny začali mierne rásť od roku 1994. Na druhej strane, potenciálna evapotranspirácia vzrástla na celom Slovensku, najviac na juhu, v Hurbanove od roku 1951 až o 100 mm. V dôsledku teplejšej klímy a vyššej potenciálnej evapotranspirácie boli obdobia s nižšími zrážkovými úhrnami po roku 1990 suchšie a dlhšie ako predtým.

Očakávané zvýšenie teploty spolu so zmenami v rozložení zrážok a zrážkových úhrnoch sa odrazí v zmenách jednotlivých prvkov vodnej bilancie. V teplej a suchej klíme Podunajskej nížiny bude produkčný potenciál vo zvýšenej miere limitovaný klesajúcou dostupnosťou vody pre plodiny a vlnami horúčav (EITZINGER *et al.*, 2013). V dôsledku zmeny klimatických pomerov sa očakáva predĺženie trvania veľkého a hlavného vegetačného obdobia. V podmienkach zmeny klímy pri stave $2 \times \text{CO}_2$ môže veľké vegetačné obdobie s priemernou dennou teplotou vyššou ako 5 °C v Podunajskej nížine pretrvávať počas celej zimy (ŠÍŠKA, TAKÁČ, 2008).

Častejší výskyt suchých období môže byť limitujúcim faktorom rastlinnej výroby. Podľa meteorologických pozorovaní sa v posledných desaťročiach na našom území zmenilo rozdelenie atmosférických zrážok a ich intenzita a oveľa častejšie sa vyskytovalo sucho. Podľa 6. národnej správy SR o zmene klímy (2013) sa silné sucho vyskytlo v rokoch 1990 – 1994, 2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2011 a 2012. Príčinou zvýšeného výskytu sucha sú okrem množstva a rozdelenia zrážok aj zvyšujúce sa teploty a tým narastajúce požiadavky na evapotranspiráciu.

Pre klasifikáciu klimatických oblastí pre bonitáciu pôdnych jednotiek v Českej republike bol okrem teplotných kritérií použitý aj index – vlhová istota (MAŠAT *et al.*, 2002). STŘEDOVÁ *et al.* (2016) na základe výpočtov pre súčasnú klímu dospeli k záveru, že uplatnením pôvodnej metodiky je možné v Českej republike klasifikovať už len 17 % územia.

Na Slovensku boli za určujúce kritériá pre vyčlenenie klimatických regiónov bonitačného systému stanovené sumy teplôt vzduchu nad 10 °C, priemerná vlhová istota vo vegetačnom období, pravdepodobnosť výskytu suchých vegetačných období, priemerné ročné teploty, ročný úhrn zrážok a v SR vlhová zabezpečenosť v mesiacoch VI. – VIII. (KURPELOVÁ, 1977). Pre agroklimatické členenie územia Slovenska (vytvorené v roku 1973), sa v prvej etape bonitácie použili parametre klimatických prvkov za obdobie 1900 až 1951, ktoré vyjadrovali objektívne dlhodobý priemer vtedajšieho charakteru klimatických podmienok. Pre vyjadrenie kontinentality regiónov teplej klimatickej oblasti (nížiny, nízko položené kotliny) sa použili názory z prác TARÁBKA (1972). Pre bonitačný informačný systém sa používa mapa uvedených KR v mierke 1 : 500 000, kde boli použité dlhodobé priemery teplôt zohľadňujúce všeobecne konštatované teplejšie zimné, suchšie letné a jesenné obdobia.

V súčasnej dobe, cca 60 rokov od skončenia referenčného obdobia použitého na vymedzenie jednotlivých KR, vyvstáva potreba aktualizácie existujúcej metodiky pre vymedzovanie agroklimatických regiónov.

Cieľom príspevku je analýza a porovnanie vývoja klímy na Slovensku v obdobiach 1961 – 1990 a 1991 – 2016. Výsledky porovnania budú následne využité pre potvrdenie potreby aktualizácie agroklimatickej regionalizácie, prípadne prehodnotenie jednotlivých kategórií a ich charakteristik.

MATERIÁL A METÓDY

Pre súčasne platný bonitačný informačný systém sa používa mapa klimatických regiónov v mierke 1 : 500 000 (Obr. 1), kde boli použité dlhodobé priemery teplôt zohľadňujúce všeobecne konštatované teplejšie zimné, suchšie letné a jesenné obdobia (Tab. 1).

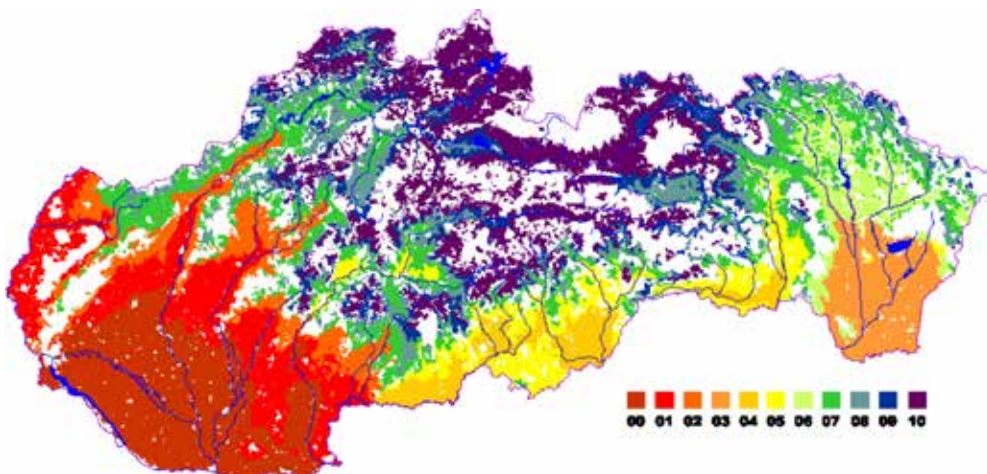
Tabuľka 1 Číselník a charakteristiky klimatických regiónov BPEJ

Kód	Charakteristika	TS > 10°C	td ≥ 5 °C	KUZ _{VI-VIII}	T jan	T veget
00	Veľmi teplý, veľmi suchý, nížinný	> 3000	242	200	-1 – -2	16 – 17
01	Teplý, veľmi suchý, nížinný	3000 – 2800	237	200 – 150	-1 – -3	15 – 17
02	Dostatočne teplý, suchý, pahorkatinový	2800 – 2500	231	150 – 100	-1 – -3	15 – 16
03	Teplý, veľmi suchý, nížinný, kontinentálny	3160 – 2800	232	200 – 150	-3 – -4	15 – 17
04	Teplý, veľmi suchý, kotlinový, kontinentálny	3030 – 2800	229	200 – 100	-2 – -4	15 – 16
05	Pomerne teplý, suchý, kotlinový, kontinentálny	2800 – 2500	222	150 – 100	-3 – -5	14 – 15

Kód	Charakteristika	TS > 10 °C	td ≥ 5 °C	KUZ _{VI-VIII}	T jan	T veget
06	Pomerne teplý, mierne suchý, vrchovinový, kontinentálny	2800–2500	224	100–50	–3 – –5	14–15
07	Mierne teplý, mierne vlhký	2500–2200	215	100–0	–2 – –5	13–15
08	Mierne chladný, mierne vlhký	2200–2000	208	100–0	–3 – –6	12–14
09	Chladný, vlhký	2000–1800	202	60–50	–4 – –6	12–13
10	Veľmi chladný, vlhký	< 1800	182	< 50	–5 – –6	10–11

TS >10 °C – suma priemerných denných teplôt >10°C za HVO [°C]
td ≥ 5 °C – dĺžka obdobia s teplotou vzduchu 5°C (WO) [dni]
KUZ_{VI-VIII} – Klimatický ukazovateľ zavlaženia [mm]
T jan – priemerná januárová teplota vzduchu [°C]
T veget – priemerná teplota vzduchu za apríl až september [°C]

Obrázok 1 Klimatické regióny BPEJ



V prvom kroku bola na základe dostupných klimatických údajov vykonaná analýza teplotných a zrážkových pomerov a charakteristik vodnej bilancie v jednotlivých oblastiach SR v rôznych obdobiach. Sezónne a ročné hodnoty teploty vzduchu za obdobia 1931–1960 a 1951–1980 boli spracované z publikovaných údajov Hydrometeorologického ústavu ČSSR (KOLEKTÍV PRACOVNÍKOV HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU POBOČKY V BRATISLAVE, 1968, KOLEKTÍV PRACOVNÍKOV HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU V BRATISLAVE, 1972, KOLEKTÍV PRACOVNÍKOV HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU POBOČKY V BRATISLAVE, 1966) a Slovenského hydrometeorologického ústavu (SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1991). Všetky hodnotené charakteristiky za obdobie 1961–2015 boli vypočítané z denných meteorologických údajov, ktoré poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava (SHMÚ) pre potreby určenia znevýhodnených poľnohospodárskych území (SOBOČKA *et al.*, 2010) a pre aplikáciu a aktualizáciu národného systému pre odhad úrod (KLIKUŠOVSKÁ, 2015).

Hodnotené charakteristiky boli štatisticky spracované pre mesiace, rok, teplý polrok,

chladný polrok a navyše aj pre Veľké vegetačné obdobie (VVO) a Hlavné vegetačné obdobie (HVO). Veľké vegetačné obdobie VVO je ohraničené biologickým teplotným minimom, t.j. denným priemerom teploty vzduchu $T \geq 5,0$ °C. VVO svojim trvaním determinuje aj obdobie vegetačného pokoja (OVP), ktoré ohraničuje priemerná denná teplota vzduchu nižšia ako biologické teplotné minimum $T < 5,0$ °C. Hlavné vegetačné obdobie HVO je ohraničené nástupom a ukončením priemernej dennej teploty $T \geq 10,0$ °C (ŠÍŠKA, TAKÁČ, 2008). Vyhodnotené bolo jednak trvanie VVO a HVO, ako aj sumy teplôt za VVO a HVO.

Pri stanovení nástupu a ukončenia charakteristických teplôt sa vychádzalo z predpokladu, že ročný chod teploty z dlhodobého hľadiska predstavuje zhruba lineárnu funkčnú závislosť vzostupu a poklesu teplôt s časom. Interpoláciou je možné nájsť priemerný dátum zodpovedajúci nástupu či ukončenia určitej teploty. Rozdiel r_v v dňoch medzi stredom mesiaca s priemernou mesačnou teplotou t_2 a dátumom nástupu teploty t_n a rozdiel r_p v dňoch medzi stredom mesiaca s priemernou mesačnou teplotou t_1 a dátumom ukončenia teploty tu bol vypočítaný podľa nasledujúcich vzorcov (NOSEK, 1972):

$$r_v = R \frac{t_n - t_2}{t_1 - t_2} \quad \text{a} \quad r_p = R \frac{t_1 - t_u}{t_1 - t_2}$$

kde R je rozdiel v počte dní medzi stredmi mesiacov s priemernou teplotou t_2 a priemernou teplotou t_1 .

Okrem hlavných klimatických prvkov teploty vzduchu a zrážkových úhrnov boli spracované a hodnotené aj agroklimatické indexy charakterizujúce vodnú bilanciu. Pre podmienky Slovenska je zaužívanou klasifikáciou klímy tzv. Končekova klasifikácia (KONČEK, PETROVIČ, 1957). Táto metóda berie ohľad na teplotné, ako aj vlhkosťné pomery, čo umožňuje lepšie vystihnúť celkový klimatický ráz územia. Podľa teplotných kritérií sú vyčlenené tri základné oblasti – teplá, mierne teplá a chladná. Teplá oblasť je ohraničená izocharou 50 letných dní. V mierne teplej oblasti sú zaradené územia s počtom letných dní menším ako 50 a priemernou júlovou teplotou vyššou ako 16 °C. Do chladnej oblasti sa zaraďujú územia, kde priemerná júlová teplota nedosahuje 16 °C. Delenie na jednotlivé okrsky je založené na empirickom Končekovom indexe zavlaženia, priemernej januárovej teplote, priemernej júlovej teplote a nadmorskej výške. Končekov index zavlaženia I_z (KONČEK, 1955) je empirický klimatologický index vodnej bilancie vegetačného obdobia využívaný hlavne k rajonizácii podnebia:

$$I_z = \frac{R}{2} + \Delta r - 10T - (30 + v^2)$$

kde R je úhrn zrážok za teplý polrok (IV–IX), Δr je kladná odchýlka zrážok za zimné mesiace (XII–II) od hodnoty 105 mm, T je priemerná teplota za teplý polrok (IV–IX) [°C] a v je priemerná rýchlosť vetra o 14 hod za teplý polrok [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Bol použitý pri klimatologickej rajonizácii Československa. Podľa hodnôt I_z boli vyčlenené nasledujúce oblasti:

- $I_z < -20$ suchá oblasť
- $-20 \leq I_z < 0$ mierne suchá oblasť
- $0 \leq I_z < 60$ mierne vlhká oblasť
- $60 \leq I_z < 120$ vlhká oblasť

$120 \leq I_z$ veľmi vlhká oblasť

Determinujúcimi faktormi vodnej bilancie poľnohospodárskej krajiny sú atmosférické zrážky a evapotranspirácia. Na vyjadrenia vodnej bilancie krajiny sa preto často používajú indexy vypočítané z týchto dvoch zložiek vodnej bilancie.

Evapotranspirácia charakterizujúca tok vody zo zemského povrchu do atmosféry je vhodným ukazovateľom pre hodnotenie vlhových pomerov územia v čase a priestore. Evapotranspiráciu tvorí výpar z pôdy spolu s transpiráciou z plochy pokrytej vegetáciou. Limitujúcim faktorom evapotranspirácie je zásoba vody v pôdnom profile.

Na výpočet potenciálnej evapotranspirácie ET_0 bola použitá Penman–Monteithova rovnica v modifikácii podľa FAO (ALLEN *et al.*, 1998), ktorú v roku 1990 skupina expertov Organizácie pre výživu a poľnohospodárstvo (FAO), Medzinárodnej komisie pre zavlažovanie a odvodnenie (ICID) a Svetovej meteorologickej organizácie (WMO) odporúčala prijať ako nový štandard na výpočet ET_0 [mm]. Denné úhrny potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie pre lokality boli vypočítané z denných údajov priemernej, maximálnej a minimálnej teploty vzduchu, priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu, trvania slnečného svitu a priemernej rýchlosti vetra.

Z agroklimatických indexov založených na vzťahu atmosférických zrážok a evapotranspirácie sa u nás používa hlavne Klimatická vodná bilancia KVB:

$$KVB = R - ET_0$$

kde R je ročný úhrn zrážok a ET_0 je ročný úhrn potenciálnej evapotranspirácie.

Medzi celosvetovo rozšírené metódy vymedzenia suchých oblastí patrí index aridity AI_{UNEP} , ktorý je definovaný ako pomer ročných zrážkových úhrnov R [mm] a potenciálnej evapotranspirácie ET_0 [mm] (UNEP, 1997):

$$AI_{UNEP} = \frac{R}{ET_0}$$

kde R je ročný úhrn zrážok a E_0 je ročný úhrn potenciálnej evapotranspirácie. Hodnoty AI_{UNEP} menšie ako 0,05 reprezentujú hyperaridnú oblasť, 0,05–0,2 aridnú oblasť, 0,2–0,5 semiaridnú oblasť, 0,5–0,65 suchú subhumidnu oblasť, 0,65–1,0 vlhkú subhumidnu oblasť a hodnoty nad 1,0 humidnu oblasť.

Pre vyčlenenie klimatických regiónov pre bonitačný informačný systém boli ako kritériá zvolené (LINKEŠ *et al.*, 1996):

- suma priemerných denných teplôt za HVO [°C],
- dĺžka VVO [dni],
- klimatický ukazovateľ zavlaženia KUZ za letné mesiace jún až august [mm],
- priemerná januárová teplota vzduchu [°C],
- priemerná teplota vzduchu za teplý polrok apríl až september [°C].

Klimatický ukazovateľ sa vypočíta ako

$$KUZ = ET_0 - R$$

Analýzy teplotných a zrážkových pomerov, charakteristík evapotranspirácie a klimatických indexov boli spracované pre 44 klimatických staníc a pre 555 uzlových bodov v sieti 10x10 km.

Denné meteorologické údaje z meteorologických staníc boli pre potreby priestorovej interpretácie interpolované do siete uzlových bodov 10 × 10 km národného systému odha-

du SK_CGMS (KLIKUŠOVSKÁ, 2015). Databáza bola doplnená o ďalšie charakteristiky a indikátory vodnej bilancie.

Pre výpočty jednotlivých indexov boli použité denné údaje v digitálnej forme ako tabuľky v databáze mdb v rozsahu obdobia rokov 1961 – 2016. Vzhľadom na uvedený formát a rozsah údajov bol k spracovaniu údajov a výpočtom použitý softvér MS Access. Ako vstupné údaje boli použité mesačné a ročné priemery maximálnej, minimálnej a priemernej teplota, tlaku vodných pár, rýchlosť vetra a sumy zrážok, E_o , globálnej radiácie. Takto vypočítané údaje boli rozdelené do dvoch tabuliek a to pre rozsah rokov 1961 – 1990 a 1991 – 2016. Následne boli pomocou dotazov za uvedené obdobia vypočítané jednotlivé indexy. Použitie dotazov a nie výpočtov do finálnych tabuliek umožňuje v prípade výskytu chýb alebo iných nezrovnalostí jednoduchú opravu, ktorá sa automaticky premieta do finálneho výstupu.

Ku každému údaju prislúcha informácia o čísle GRID_NO, ktoré je reprezentované centrom so súradnicami. Pomocou centroidu bolo možné výstupy výpočtov zobrazovať priestorovo vo forme gridu 10 × 10 km, pričom boli použité programy ArcGIS a Surfer.

Pre potreby záverečného vyhodnotenia získaných údajov bol pomocou priestorovej analýzy v prostredí ArcGIS priradený každému bodu gridového poľa v súčasnosti platný agroklimatický región podľa Príručky pre používanie máp pôdnoekologických jednotiek (LINKEŠ *et al.*, 1993, DŽATKO, LINKEŠ, PESTŮN, 1996). Finálne kontingenčné tabuľky boli vytvorené na základe konečných výsledkov v MS Excel. Kontingenčné tabuľky boli spracované tak, aby bolo možné porovnávať údaje na úrovni dvoch období rokov 1961 – 1990 a 1991 – 2016 a zároveň podľa zaradenia do jednotlivých agroklimatických regiónov.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Teplotné a zrážkové pomery

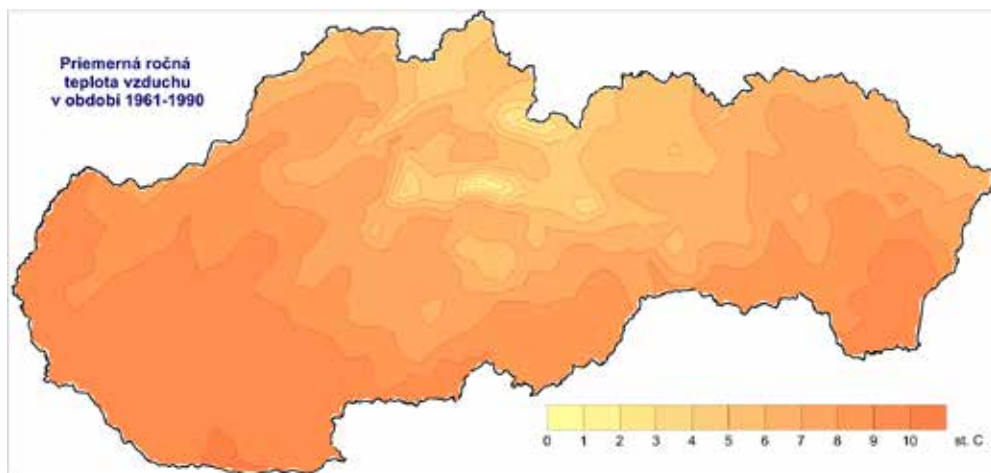
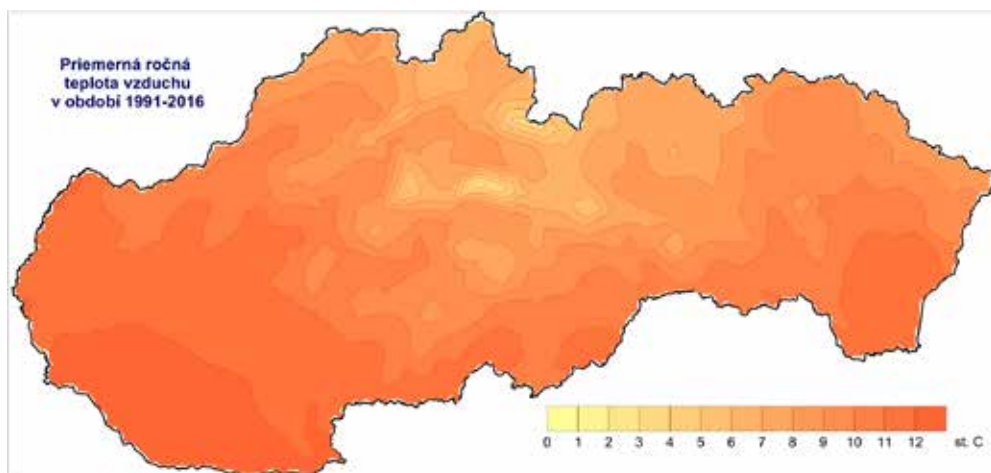
Porovnanie priemerných ročných a sezónnych hodnôt teploty vzduchu v rôznych obdobiach počnúc rokom 1931 uvedených v tabuľke 2 ukazuje na postupné otepľovanie vo všetkých regiónoch Slovenska. Nárast priemernej ročnej teploty vzduchu v období 1991 – 2016 v porovnaní s obdobím 1931 – 1960 predstavuje približne 1 °C. Nárast priemernej ročnej teploty vzduchu na území Slovenska je dokumentovaný na obrázkoch 2 a 3.

Tabuľka 2 Priemerné sezónne a ročné hodnoty teploty vzduchu [°C] a úhrny atmosférických zrážok [mm] na vybraných lokalitách vo vybraných obdobiach

Lokalita	Obdobie	Teplota vzduchu [°C]			Zrážky [mm]		
		TP	CHP	rok	TP	CHP	rok
Hurbanovo	1931 – 1960 ^a	–	–	9,9	312	262	574
	1951 – 1980 ^d	16,6	–	9,9	316	231	547
	1961 – 1990 ^e	16,7	3,3	10,0	303	220	523
	1981 – 2010 ^e	17,5	3,7	10,6	323	224	547
	1991 – 2016 ^e	18,0	4,2	11,0	338	235	573

Lokalita	Obdobie	Teplota vzduchu [° C]			Zrážky [mm]		
		TP	CHP	rok	TP	CHP	rok
Bratislava	1931–1960 ^a	–	–	9,8	323	288	611
	1951–1980 ^d	16,2	–	9,7	330	257	587
	1961–1990 ^e	16,4	3,2	9,8	312	264	576
	1981–2010 ^e	17,4	3,7	10,6	315	247	562
	1991–2016 ^e	17,8	4,1	11,0	341	241	581
Nitra	1931–1960 ^a	–	–	9,7	323	257	580
	1951–1980 ^d	16,3	–	9,7	327	234	561
	1961–1990 ^e	16,3	3,1	9,7	312	221	536
	1981–2010 ^e	17,0	3,3	10,2	316	221	537
	1991–2016 ^e	17,4	3,7	10,6	330	226	555
Rimavská Sobota	1931–1960 ^b	–	–	8,8	390	250	640
	1951–1980 ^d	15,6	–	8,6	378	243	621
	1961–1990 ^e	15,8	1,7	8,8	362	233	595
	1981–2010 ^e	16,7	2,1	9,4	386	241	627
	1991–2016 ^e	17,0	2,4	9,7	389	253	642
Liptovský Hrádok	1931–1960 ^b						
	1951–1980 ^d	12,4	–	6,1	426	242	668
	1961–1990 ^e	12,6	-0,2	6,2	423	254	678
	1981–2010 ^e	13,4	0,3	6,9	437	268	702
	1991–2016 ^e	13,9	0,8	7,3	447	274	720
Košice	1931–1960 ^c	–	–	8,7	410	226	636
	1951–1980 ^d	15,3	–	8,5	412	215	627
	1961–1990 ^e	15,5	1,6	8,6	407	212	619
	1981–2010 ^e	16,3	2,1	9,2	416	195	611
	1991–2016 ^e	16,8	2,6	9,7	413	203	616
Michalovce	1931–1960 ^c	–	–	9,1	349	244	593
	1951–1980 ^d	16,1	–	9,1	354	239	593
	1961–1990 ^e	16,0	2,1	9,1	370	235	605
	1981–2010 ^e	16,8	2,5	9,6	399	240	639
	1991–2016 ^e	17,3	3,0	10,1	395	252	647
Trebišov	1931–1960 ^c	–	–	9,0	355	209	564
	1951–1980 ^d	16,0	–	8,9	349	210	559
	1961–1990 ^e	16,0	1,8	8,9	347	200	547
	1981–2010 ^e	16,6	2,3	9,4	374	193	567
	1991–2016 ^e	17,0	2,7	9,8	377	199	576

Lokalita	Obdobie	Teplota vzduchu [° C]			Zrážky [mm]		
		TP	CHP	rok	TP	CHP	rok
TP – teplý polrok (apríl – september)							
CHP – chladný polrok (október – marec)							
^a – Kolektív pracovníkov Hydrometeorologického ústavu pobočky v Bratislave, 1968							
^b – Kolektív pracovníkov Hydrometeorologického ústavu v Bratislave, 1972							
^c – Kolektív pracovníkov Hydrometeorologického ústavu pobočky v Bratislave, 1966							
^d – Slovenský hydrometeorologický ústav, 1991							
^e – Spracované podľa údajov SHMÚ Bratislava							

Obrázok 2 Priemerná ročná teplota v období 1961 – 1990**Obrázok 3** Priemerná ročná teplota v období 1991 – 2016

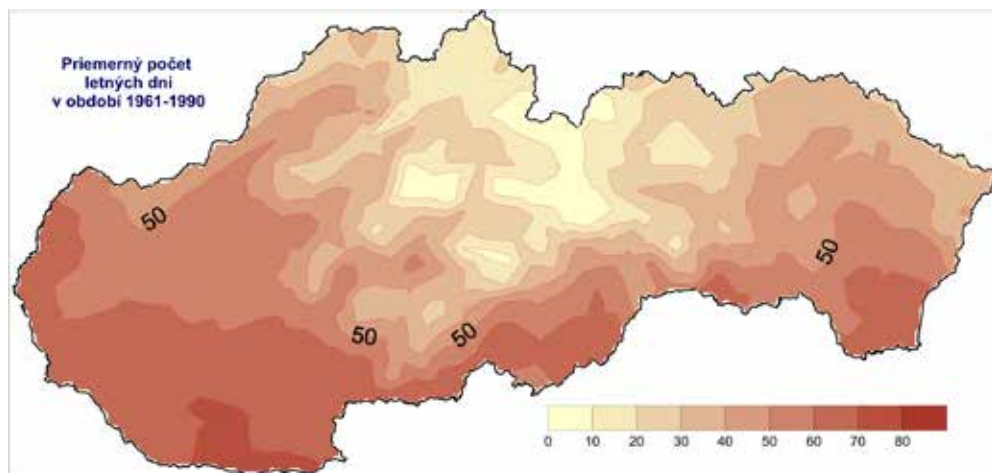
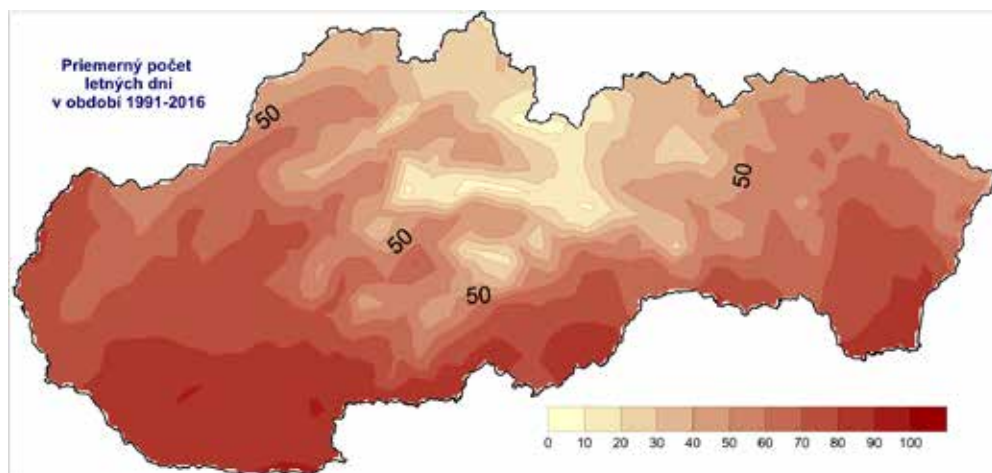
Trend otepľovania sa prejavuje vo výskyte dní s charakteristickými teplotami (Tab. 3). V období 1961 – 2016 bol na celom území pozorovaný postupný rast počtu letných, tropických a supertropických dní charakterizovaných maximálnymi dennými teplotami 25 °C, 30 °C, 35 °C a vyššími. Bol zaznamenaný aj zvýšený výskyt tropických nocí, keď denná minimálna teplota

neklesla pod 20 °C. Na druhej strane, výskyt ľadových dní s celodennými mrazmi mierne poklesol.

Tabuľka 3 Priemerná ročná teplota vzduchu T [°C] a priemerné počty dní s charakteristickými teplotami na vybraných meteorologických stanicích za normálové obdobie 1961–1990 a obdobie 1991–2016 (spracované podľa údajov SHMÚ Bratislava)

Stanica	Obdobie	T [°C]	Počet dní				
			Arktický	Ľadový	Letný	Tropický	Supertropický
Hurbanovo	1961–1990	10,0	0,3	22,7	74,6	19,5	0,5
	1991–2016	11,0	0,0	17,5	89,9	32,3	4,3
Bratislava	1961–1990	9,8	0,2	23,2	69,3	18,4	0,4
	1991–2016	11,0	0,0	20,7	77,7	24,7	2,9
Gabčíkovo	1961–1990	9,5	0,3	24,2	65,0	13,9	0,2
	1991–2016	10,8	0,0	19,0	86,2	29,2	3,0
Žihárec	1961–1990	9,6	0,3	22,5	68,8	16,6	0,2
	1991–2016	10,8	0,0	17,9	90,5	32,5	4,5
Podhájska	1961–1990	9,6	0,3	24,0	68,8	16,8	0,4
	1991–2016	10,6	0,1	21,0	88,3	32,2	4,3
Nitra	1961–1990	9,7	0,3	23,6	60,8	13,5	0,2
	1991–2016	10,6	0,0	18,5	80,8	26,9	3,3
Piešťany	1961–1990	9,2	0,3	24,6	58,5	12,6	0,1
	1991–2016	10,1	0,0	20,9	74,2	22,4	2,6
Kuchyňa	1961–1990	9,2	0,4	25,8	61,8	15,2	0,3
	1991–2016	10,3	0,1	19,7	74,4	23,9	3,0
Topoľčany	1961–1990	9,4	0,3	22,7	60,5	13,3	0,1
	1991–2016	10,5	0,0	18,2	82,9	27,8	3,5
Lučenec	1961–1990	8,8	0,8	30,8	62,3	12,6	0,2
	1991–2016	9,7	0,2	25,6	80,3	22,9	2,1
Rimavská Sobota	1961–1990	8,8	0,7	31,2	67,4	14,1	0,2
	1991–2016	9,7	0,3	27,3	87,1	28,5	3,3
Rožňava	1961–1990	8,3	0,4	32,0	56,3	9,5	0,1
	1991–2016	9,3	0,0	26,2	74,5	19,0	1,3
Liptovský Hrádok	1961–1990	6,2	1,8	42,8	26,1	1,5	0,0
	1991–2016	7,3	0,5	33,6	45,6	8,3	0,3
Moldava n. Bodvou	1961–1990	8,5	0,6	32,3	64,6	14,0	0,2
	1991–2016	9,5	0,1	26,7	80,9	23,8	2,3
Košice	1961–1990	8,6	0,9	35,7	51,9	8,4	0,1
	1991–2016	9,7	0,3	30,0	68,4	17,4	1,1
Čaklov	1961–1990	8,5	0,6	29,7	56,0	9,0	0,0
	1991–2016	9,5	0,3	28,5	78,4	22,3	1,7

Stanica	Obdobie	T [° C]	Počet dní				
			Arktický	Ľadový	Letný	Tropický	Supertropický
Michalovce	1961 – 1990	9,1	0,9	32,6	59,1	10,6	0,1
	1991 – 2016	10,1	0,2	27,0	79,2	23,7	2,1
Trebišov	1961 – 1990	8,9	0,8	33,3	63,0	13,1	0,4
	1991 – 2016	9,8	0,4	29,4	76,8	21,8	2,5
Kamenica n. Cirochou	1961 – 1990	8,3	1,1	31,7	51,2	7,8	0,0
	1991 – 2016	9,3	0,3	27,8	70,8	18,7	1,5
Medzila- borce	1961 – 1990	6,9	1,1	39,9	41,3	4,9	0,0
	1991 – 2016	7,9	0,2	32,4	61,1	13,9	0,5

Obrázok 4 Priemerný počet letných dní v roku v období 1961 – 1990**Obrázok 5** Priemerný počet letných dní v roku v období 1991 – 2016

V klimatickej regionalizácii Slovenska bol jedným z kritérií počet letných dní. Izočiarou s priemerným počtom letných dní v roku 50 a viac bola ohraničená teplá oblasť. Ako vidieť z porovnania obrázkov 4 a 5, v ostatných rokoch došlo k významnému rozšíreniu teplej oblasti. Kým v období 1961 – 1990 oblasť s počtom letných dní 50 a viac pokrývala necelú polovicu územia Slovenska (45 %), v období 1991 – 2016 to už boli dve tretiny územia.

Atmosférické zrážky sa vyznačujú časovou a priestorovou premenlivosťou v závislosti od nadmorskej výšky a expozície k smeru prúdenia vzduchu. Úhrny atmosférických zrážok a počet dní so zrážkami rastú s nadmorskou výškou. Najsuchšou oblasťou Slovenska je juh Podunajskej nížiny. Pomerne nízke zrážkové úhrny sú pozorované v kotlinách a nížinách ležiacich v zrážkovom tieni pohorí. Z dlhodobého hľadiska sú zrážky na území Slovenska počas roka rozložené rovnomerne. Rozdelenie zrážkových úhrnov v priebehu roka môžeme na základe hodnôt indexu koncentrácie zrážok *PCI* charakterizovať na väčšine územia Slovenska ako mierne sezónne, v kotlinách ako sezónne (TAKÁČ *et al.*, 2010).

Ako ukazuje tabuľka 2, zrážky sa vyznačujú premenlivosťou aj v rámci hodnotených období. V poslednom hodnotenom období 1991 – 2016 došlo na väčšine územia k miernemu zvýšeniu ročných zrážkových úhrnov, aj zrážkových úhrnov v teplom polroku. Na väčšine meteorologických staníc vzrástol počet dní so zrážkovými úhrnmi nad 10 mm. Zvýšili sa ročné maximálne 24-hodinové úhrny zrážok a ročné maximálne 5-dňové úhrny zrážok. Narástol podiel zrážkových úhrnov nad 10 mm z celkových ročných zrážkových úhrnov a zo zrážkových úhrnov v teplom polroku (TAKÁČ, 2015).

Veľké a hlavné vegetačné obdobie

Nárast teploty vzduchu sa prejavil na trvaní veľkého a hlavného vegetačného obdobia. Začiatok veľkého vegetačného obdobia sa v hodnotenom období 1991 – 2016 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 posunul smerom k skoršiemu termínu v priemere o 19 dní a koniec veľkého vegetačného obdobia sa posunul na neskorší termín o 8 dní, teda trvanie veľkého vegetačného obdobia sa predĺžilo v priemere o 26 dní. Nástup hlavného vegetačného obdobia sa v období 1991 – 2016 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 urýchlil o 16 dní, kým koniec tohto obdobia bol neskôr o 10 dní, hlavné vegetačné obdobie teda trvalo v období 1991 – 2016 priemerne o 26 dní dlhšie ako v období 1961 – 1990, pričom v klimatických regiónoch BPEJ 1 až 6 sa trvanie *VVO* predĺžilo až o 2 mesiace. Podľa scenárov zmeny klímy pre Slovensko sa pritom predpokladalo predĺženie vegetačného obdobia do roku 2020 len o 21 dní a do roku 2050 o mesiac (ŠIŠKA – TAKÁČ, 2008).

Priemerné rozdiely v trvaní, začiatku a konca veľkého a hlavného vegetačného obdobia a v sume teplôt podľa jednotlivých klimatických regiónov sú uvedené v Tab. 4 a 5. K najvýznamnejšiemu posunu začiatku *VVO*, resp. *HVO* prišlo v klimatických regiónoch 0 až 5, resp. 1, 2 a 4 až 7. Ako vidieť z uvedených tabuliek, v období 1991 – 2016 sa v porovnaní s obdobím 1961 – 2016 významne zvýšila aj suma teplôt oboch vegetačných období.

Tabuľka 4 Priemerné trvanie VVO [dni], priemerná suma teplôt [°C] vo VVO, priemerný rozdiel začiatku a konca [dni] v normálovom období 1961 – 1990 a v období 1991 – 2016 podľa klimatických regiónov BPEJ

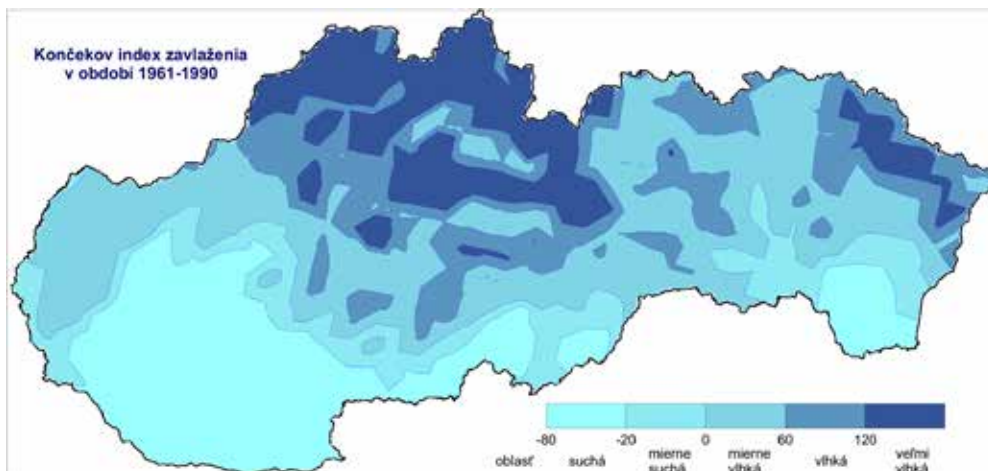
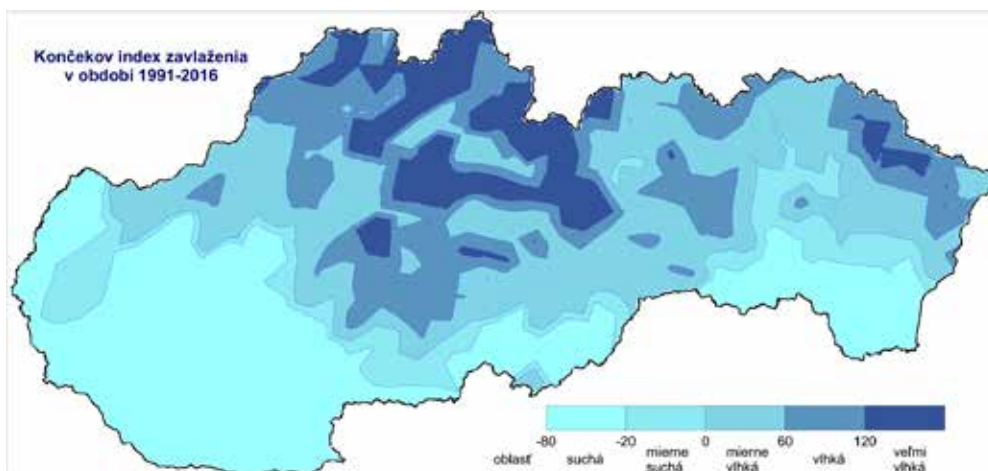
Klimatický región	Počet dní	Suma teplôt	Začiatok VVO	Koniec VVO
0	32	509	-23	9
1	61	600	-50	11
2	63	570	-52	11
3	64	515	-53	11
4	64	539	-53	10
5	48	441	-39	10
6	5	234	2	7
7	13	291	-6	7
8	-4	182	8	5
9	-4	152	8	4
10	8	257	-3	5
11	12	275	-6	6
Celkovo	26	371	-19	8

Tabuľka 5 Priemerné trvanie HVO [dni], priemerná suma teplôt [°C] vo HVO, priemerný rozdiel začiatku a konca [dni] v normálovom období 1961 – 1990 a v období 1991 – 2016 podľa klimatických regiónov BPEJ

Klimatický región	Počet dní	Suma teplôt	Začiatok HVO	Koniec HVO
0	1	293	9	10
1	39	652	-30	9
2	52	753	-43	9
3	17	400	-9	8
4	35	584	-27	8
5	54	748	-45	9
6	52	660	-42	10
7	40	559	-30	10
8	10	234	0	9
9	2	153	7	9
10	17	342	-7	10
11	16	335	-5	11
Celkovo	26	457	-16	10

Klimatická klasifikácia podľa Končeka

Aj porovnanie vypočítaných hodnôt Končekovho indexu zavláženia I_z potvrdzuje zmeny klimatických pomerov a postupné vysušovanie územia. Kým v období 1961 – 1990 bolo zaradených do suchej a mierne suchej oblasti 37% územia Slovenskej republiky, v období 1991 – 2016 tieto dve oblasti pokrývali už 45% územia. Výmera suchej oblasti pritom vzrástla o 10% z 24% na 34%, výmera mierne suchej oblasti poklesla o 2%. Na druhej strane, plocha mierne vlhkej oblasti sa znížila z 31% na 24%. Výmera vlhkej a veľmi vlhkej oblasti ostala zachovaná, zväčšila sa len výmera veľmi vlhkej oblasti na úkor vlhkej oblasti (Obr. 6 a 7).

Obrázok 6 Priemerné hodnoty Končekovho indexu zavlaženia v období 1961–1990**Obrázok 7** Priemerné hodnoty Končekovho indexu zavlaženia v období 1991–2016

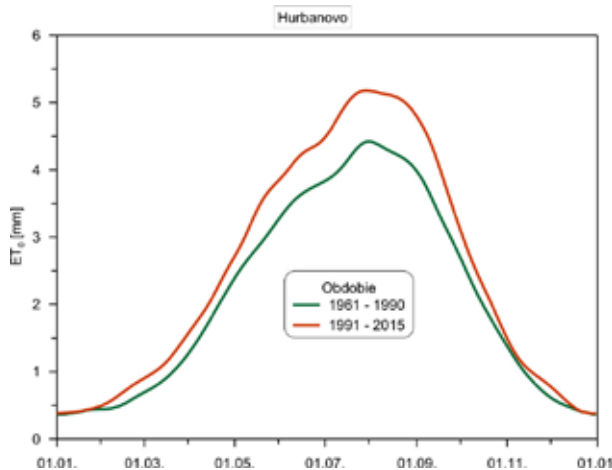
Evapotranspirácia

Vzhľadom na vodnú bilanciu v poľnohospodárskej krajine je evapotranspirácia dominujúcou stratovou zložkou. Najvyššie ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie pripadajú na Podunajskú nížinu. S nadmorskou výškou ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie klesajú. Maximálne úhrny potenciálnej evapotranspirácie sa vyskytujú zvyčajne v júli, kým aktuálna evapotranspirácia ET dosahuje v južných oblastiach Slovenska maximálne hodnoty už koncom jari. Priemerná ročná relatívna evapotranspirácia dosahuje v nížinných oblastiach hodnoty okolo 60%. V horských oblastiach sa hodnoty aktuálnej evapotranspirácie približujú hodnotám potenciálnej evapotranspirácie.

V období 1991–2016 v porovnaní s obdobím 1961–1990 boli vypočítané ročné úhrny

ET_0 a úhrny ET_0 v teplom polroku na juhu Podunajskej nížiny väčšie o 8 %, juhu stredného Slovenska o 10 % a na juhu Východoslovenskej nížiny o 14 %. V absolútnych hodnotách je nárast úhrnov pozorovateľný v letných mesiacoch (Obr. 8).

Obrázok 8 Priemerné mesačné úhrny potenciálnej evapotranspirácie ET_0 [mm] v období 1961 – 1990 a v období 1991 – 2015 na meteorologickej stanici Hurbanovo

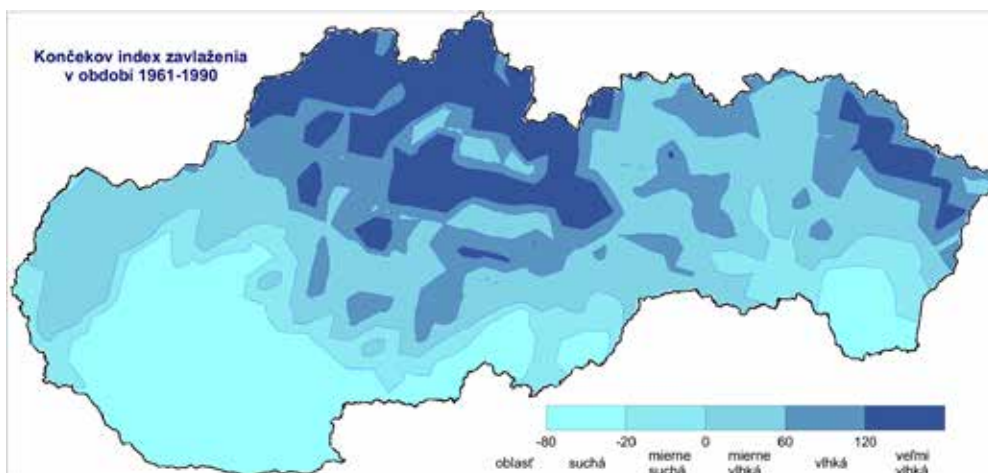
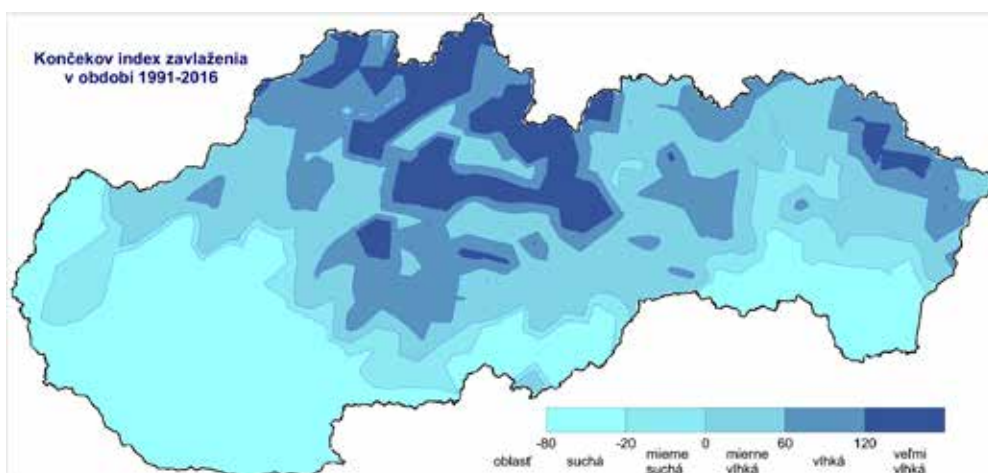


Klimatická vodná bilancia

Ako bolo uvedené, determinujúcimi faktormi vodnej bilancie poľnohospodárskej krajiny sú atmosférické zrážky a evapotranspirácia. Na juhu Slovenska v ročnej sume potenciálna evapotranspirácia ET_0 a tým aj vlahová potreba plodín, prevláda nad dotáciou atmosférickými zrážkami. Klimatická vodná bilancia je v nížinných regiónoch Slovenska záporná (Obr. 9 a 10). Najnižšie priemerné hodnoty dosahuje klimatická vodná bilancia na juhu Podunajskej nížiny. Záporná klimatická vodná bilancia tu prevažuje od marca do októbra, od novembra do februára zrážky prevyšujú potenciálnu evapotranspiráciu (Obr. 11).

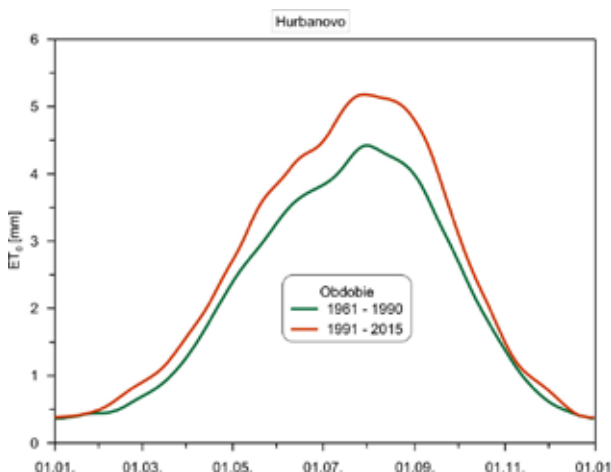
Priemerná klimatická vodná bilancia územia Slovenska (vrátane horských oblastí) má zápornú hodnotu. V hlavnom vegetačnom období *HVO* je rozdiel medzi potenciálnou evapotranspiráciou a zrážkovými úhrnmi väčší ako 200 mm. Z porovnania priemernej hodnoty *KVB* v období 1961 – 1990 a v období 1991 – 2016 vyplýva, že záporná vodná bilancia sa v *HVO* prehĺbila o 10 % (Tab. 6). Zvyšovanie rozdielov medzi zrážkovými úhrnmi a úhrnmi potenciálnej evapotranspirácie zvyšuje zraniteľnosť územia suchom. V hodnotenom období sa klimatická vodná bilancia medziročne pohybovala v širokých intervaloch, pričom extrémne hodnoty (minimum a maximum) sa vyskytli v poslednom desaťročí.

Prehĺbenie zápornej klimatickej bodnej bilancie je najvýraznejšie v teplých okrskoch, ako vidieť v tabuľkách 7 a 8.

Obrázok 9 Priemerná ročná klimatická vodná bilancia v období 1961–1990**Obrázok 10** Priemerná ročná klimatická vodná bilancia v období 1991–2016**Tabuľka 6** Priemerné hodnoty Klimatickej vodnej bilancie KVB [mm] za rok, veľké vegetačné obdobie VVO a hlavné vegetačné obdobie HVO za územie Slovenska v normálovom období 1961–1990 a v období 1991–2016

Obdobie	Rok	VVO	HVO
1961–1990	-76	-206	-204
1991–2016	-90	-208	-225
Rozdiel	-14	-2	-21

Obrázok 11 Priemerné mesačné úhrny atmosférických zrážok Z [mm] a potenciálnej evapotranspirácie ET_0 [mm] v období 1961 – 1990 na meteorologickej stanici Hurbanovo (TAKÁČ, 2015)



Tabuľka 7 Priemerná klimatická vodná bilancia [mm] počas VVO v období 1961 – 1990 a v období 1991 – 2016 podľa klimatických regiónov BPEJ

Klimatický región	KVB_VVO_1961-1990	KVB_VVO_1991-2016	Rozdiel_VVO
0	-404,62	-418,90	-14,29
1	-341,97	-375,98	-34,01
2	-297,29	-298,93	-1,64
3	-266,45	-287,02	-20,57
4	-289,03	-271,10	17,93
5	-260,67	-232,28	28,39
6	-142,07	-153,06	-10,98
7	-198,51	-178,60	19,92
8	-124,69	-117,69	7,00
9	-95,81	-76,72	19,08
10	-84,18	-83,48	0,70
11	-61,12	-74,19	-13,07
Celkovo	-205,75	-207,98	-2,23

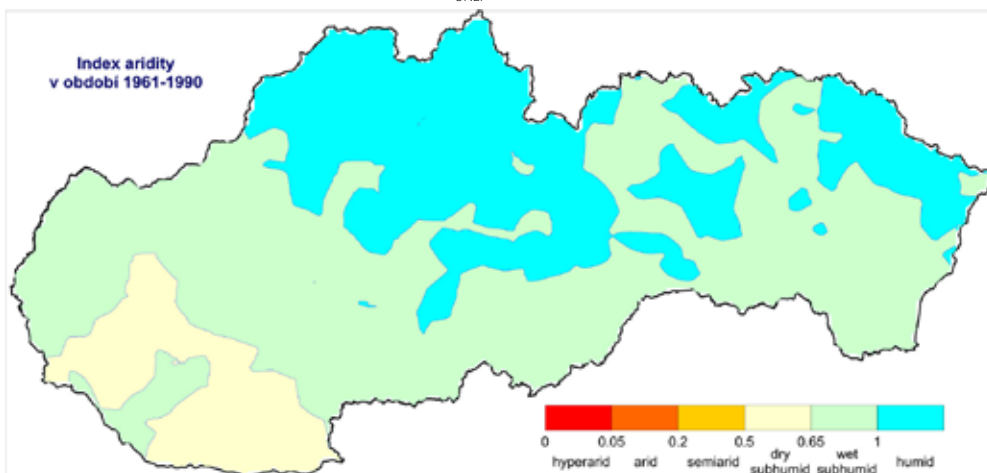
Tabuľka 8 Priemerná klimatická vodná bilancia [mm] počas HVO v období 1961 – 1990 a v období 1991 – 2016 podľa klimatických regiónov BPEJ

Klimatický región	KVB_HVO_1961-1990	KVB_HVO_1991-2016	Rozdiel_HVO
0	-428,15	-428,88	-0,74
1	-321,66	-393,50	-71,84
2	-268,43	-334,16	-65,73
3	-269,54	-312,71	-43,17
4	-278,12	-301,47	-23,35
5	-230,95	-263,17	-32,22
6	-129,94	-185,18	-55,24
7	-184,19	-203,61	-19,41
8	-121,84	-117,24	4,60
9	-96,94	-77,26	19,67
10	-96,56	-96,46	0,09
11	-77,39	-83,46	-6,93
Celkovo	-204,38	-225,19	-21,18

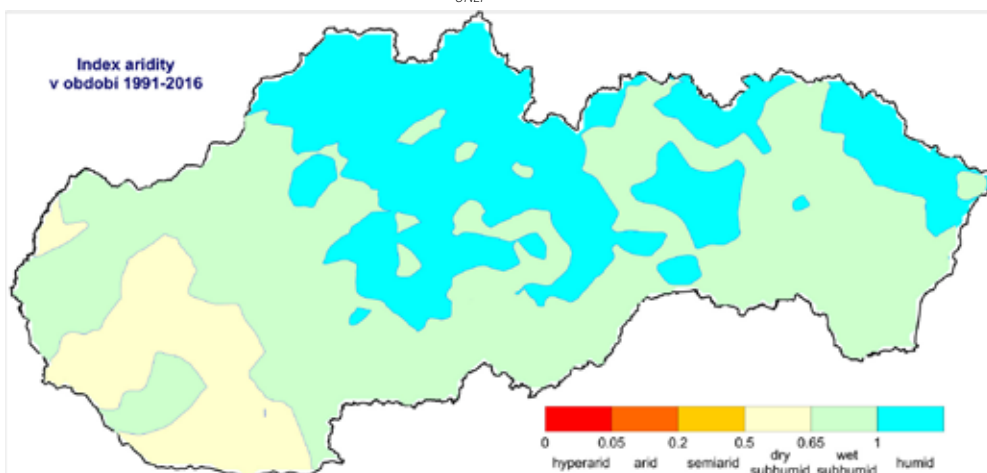
Index aridity

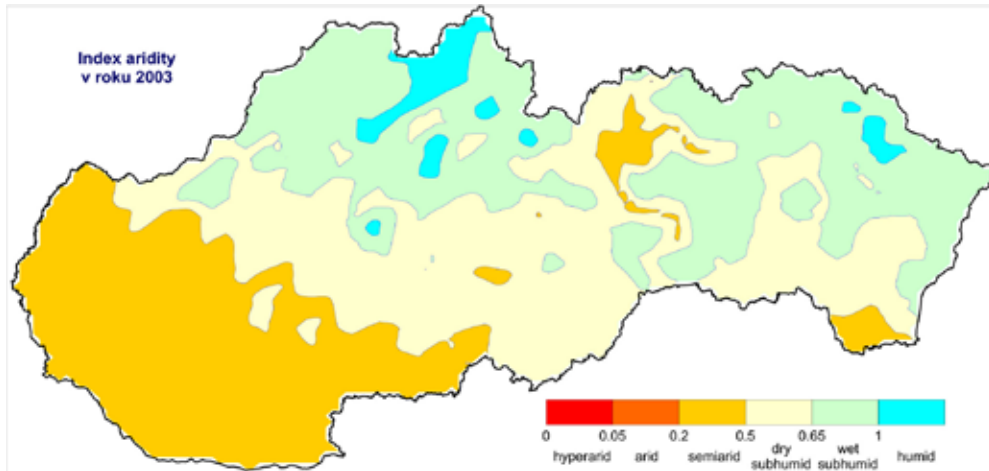
Dlhodobé hodnoty AI_{UNEP} za obdobie 1961 – 1990 zaraďujú južné oblasti Slovenska do vlhkej subhumídnej oblasti, zvyšok územia Slovenska patrí do humídnej oblasti (Obr. 12). Hodnoty AI_{UNEP} za obdobie 1991 – 2016 (Obr. 13) naznačujú trend vysušovania územia (TAKÁČ, 2015). Podľa hodnôt AI_{UNEP} bol v období 1961 – 2016 najsuchším rokom na území Slovenska rok 2003, keď hodnoty AI_{UNEP} na západnom Slovensku klesli na hodnoty zaraďujúce územie do semiaridnej oblasti. Na juhu stredného a východného Slovenska boli v roku 2003 hodnoty AI_{UNEP} na úrovni typickej pre suchú subhumídnu oblasť (obr. 14). Hodnoty AI_{UNEP} zodpovedajúce semiaridnej oblasti boli na časti územia, predovšetkým na Podunajskej nížine, vypočítané aj v rokoch 1983, 1990, 2000, 2011 a 2012.

Obr. 12 Priemerná hodnota Indexu aridity AI_{UNEP} v období 1961 – 1990



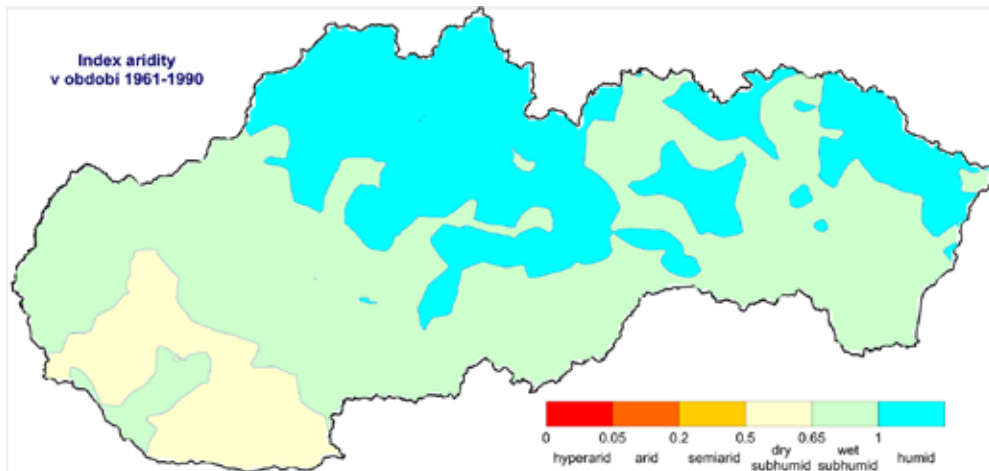
Obr. 13 Priemerná hodnota Indexu aridity AI_{UNEP} v období 1991 – 2016



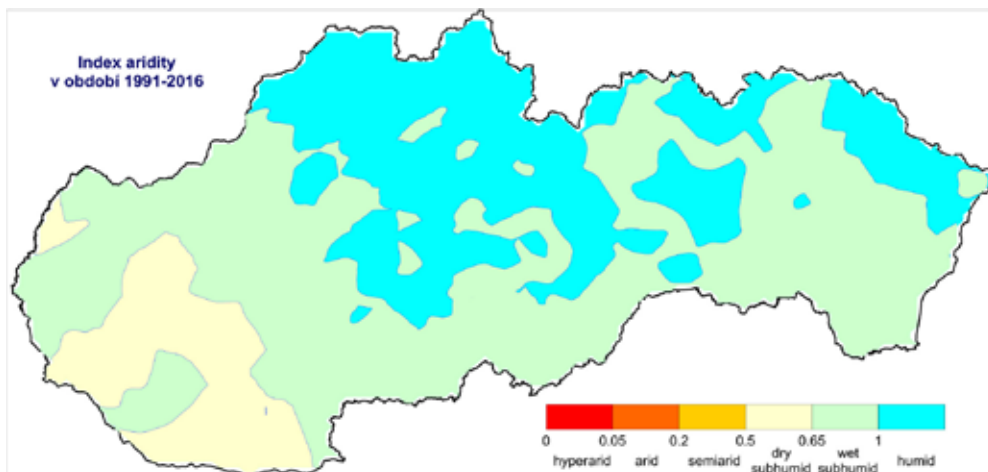
Obr. 14 Hodnota Indexu aridity AI_{UNEP} v 2003

Klimatický ukazovateľ zavlaženia podľa Budyka

Jedným z kritérií na vyčlenenie pôdno–klimatických jednotiek v rámci BPEJ je klimatický ukazovateľ zavlaženia podľa Budyka. Hodnotenú sú letné mesiace jún až august. Ako vidieť z obrázkov 15 a 16, aj podľa tohto kritéria nastali významné zmeny.

Obrázok 15 Priemerná hodnota klimatického ukazovateľa zavlaženia za mesiace jún až august podľa Budyka v období 1961 – 1990

Obrázok 16 Priemerná hodnota klimatického ukazovateľa zavlaženia za mesiace jún až august podľa Budyka v období 1991–2016



ZÁVER

Porovnanie priemerných ročných a sezónnych hodnôt teploty vzduchu v rôznych obdobiach ukazuje na postupné otepľovanie vo všetkých regiónoch Slovenska. Nárast priemernej ročnej teploty vzduchu v období 1991–2016 v porovnaní s obdobím 1931–1960 predstavuje približne 1 °C.

V dôsledku nárastu teplôt sa začiatok veľkého vegetačného obdobia v hodnotenom období 1991–2016 v porovnaní s obdobím 1961–1990 posunul smerom k skoršiemu termínu v priemere o 19 dní a koniec veľkého vegetačného obdobia sa posunul na neskorší termín o 8 dní, teda trvanie veľkého vegetačného obdobia sa predĺžilo v priemere o 26 dní. Nástup hlavného vegetačného obdobia sa v období 1991–2016 v porovnaní s obdobím 1961–1990 urýchlil o 16 dní, kým koniec tohto obdobia bol neskôr o 10 dní, hlavné vegetačné obdobie teda trvalo v období 1991–2016 priemerne o 26 dní dlhšie ako v období 1961–1990.

Z porovnania priemernej hodnoty *KVB* v období 1961–1990 a v období 1991–2016 vyplýva, že záporná vodná bilancia sa v *HVO* prehĺbila o 10%. Zvyšovanie rozdielov medzi zrážkovými úhrnmi a úhrnmi potenciálnej evapotranspirácie zvyšuje zraniteľnosť územia suchom.

Aj porovnanie vypočítaných hodnôt Končekovho indexu zavlaženia, indexu aridity a klimatického ukazovateľa zavlaženia podľa Budyka potvrdzujú zmeny klimatických pomerov a postupné vysušovanie územia.

Z porovnania jednotlivých charakteristík a indexov v obdobiach 1961–1990 a 1991–2016 vyplýva jednoznačná potreba aktualizácie agroklimatickej regionalizácie.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0406.

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. FAO, Rome. ISBN 92–5–104219–5
- EITZINGER, J. – TRNKA, M. – SEMERÁDOVÁ, D. – THALER, S. – SVOBODOVÁ, E. – HLAVINKA, P. – ŠIŠKA, B. – TAKÁČ, J. – MALATINSKÁ, L. – NOVÁKOVÁ, M. – DUBROVSKÝ M. – ŽALUD, Z. 2013. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. *Journal of Agricultural Science*. Vol.: 151 (6), pp. 782–812
- KLIKUŠOVSKÁ, Z. 2015. *Aplikácia a aktualizácia národného systému agrometeorologického modelovania pre odhad úrody a produkciu poľnohospodárskych plodín (SK_CGMS)*. Záverečná správa k riešeniu úloh v rámci kontraktu s MPRV SR za rok 2014, NPPC–VÚPOP, Bratislava, 50 s.
- KOLEKTÍV PRACOVNÍKOV HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU POBOČKY V BRATISLAVE. 1966. *Klimatické a fenologické pomery Východoslovenského kraja*. Hydrometeorologický ústav ČSSR, Praha, 1966. 276 s.
- KOLEKTÍV PRACOVNÍKOV HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU POBOČKY V BRATISLAVE. 1968. *Klimatické a fenologické pomery Západodoslovenského kraja*. Hydrometeorologický ústav ČSSR, Praha, 1968. 343 s.
- KOLEKTÍV PRACOVNÍKOV HYDROMETEOROLOGICKÉHO ÚSTAVU V BRATISLAVE. 1972. *Klimatické a fenologické pomery Stredoslovenského kraja*. Hydrometeorologický ústav Bratislava, Bratislava, 1972, 432 s.
- KONČEK, M. Index zavlaženia. In: *Meteorologické zprávy*, 1955. vyd. 8, č. 4, pp 96–99.
- KONČEK, M. – PETROVIČ, Š. Klimatické oblasti Československa. In: *Meteorologické zprávy*, 1957, vyd. 10, č. 5, pp 113–119.
- KURPELOVÁ, M. 1985. *Mapa sumy teplôt 10°C*. In: Atlas SSR. Praha – Bratislava. 1985. 138s.
- LAPIN, M. – FAŠKO, P. – MELO, M. – ŠTASTNÝ, P. – TOMLAIN, J. 2002. Klimatické oblasti. In HRNČIAROVÁ, T. (Ed.) *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. MŽP SR, Bratislava, AŽP SR, Banská Bystrica. 344 pp. ISBN 80–88833–27–2.
- LINKEŠ, V. kol. 1993. *Spresnenie a zdokonalenie pôdoznaleckej časti bonitácie poľnohospodárskych pôd. Záverečná správa za grant MP SR.VÚPU Bratislava*, 36 pp
- LINKEŠ, V. – PESTŮN, V. – DŽATKO, M. 1996. *Průručka pro používání map bonitovaných půdno–ekologických jednotek*. Třetí upravené vydání. VÚPÚ Bratislava. 103 pp. ISBN 80–85361–19–1.
- MAŠÁT a kol. 2002. *Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek*. VÚMOP Praha, 113 pp.
- MINISTRY OF THE ENVIRONMENT OF THE SLOVAK REPUBLIC and the SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE. 2013. *The Sixth National Communication of the Slovak Republic on Climate Change under United Nations Framework Convention on Climate Change and Kyoto Protocol*. Bratislava. 136 pp.
- NOSEK, M. 1972. *Metody v klimatologii*. Academia, Praha. 434 s.
- SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. 1991. *Klimatické pomery na Slovensku. Vybrané charakteristiky. Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave*. 1. Vydanie. Vydavateľstvo ALFA, Bratislava. 240 s. ISBN 80–05–00888–0.
- SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. 2015. *Klimatický atlas Slovenska*. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2015. ISBN 978–80–88907–91–6
- SOBÍŠEK, B. – MUNZAR, J. – KRŠKA, K. 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. 1. vyd. MŽP ČR, Praha, 594 s. ISBN 80–85368–45–5.
- SOBOCKÁ, J. – SKALSKÝ, R. – BALKOVIČ, J. – TAKÁČ, J. – NOVÁKOVÁ, M. 2010. *Nové metodické postupy pre navrhované spoločné pôdne a klimatické kritériá, ktoré možno použiť pre klasifikáciu znevýhodnených poľnohospodárskych území na úrovni Európskej únie*. Metodická príručka pre LFA. VÚPOP, Bratislava, 23 s.
- STŘEDOVÁ et al. 2016. *Krajina a klima ve vzájemných souvislostech*. Mendelova univerzita v Brně. Brno. Pp. 184. ISBN 978–80–7509–448–3.

- ŠIŠKA, B. – TAKÁČ, J. 2008. *Klimatická zmena a poľnohospodárstvo Slovenskej republiky. Dôsledky, adaptačné opatrenia a možné riešenia*. Štúdiá Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti SAV XXIV, roč. XXI, SBkS, Zvolen, 67 s.
- TARÁBEK, K. 1972. *Klimogeografické regióny ČSSR*. (Záverečná správa). Geografický ústav SAV, Bratislava, 1972
- TAKÁČ, J. 2015. *Sucho v poľnohospodárskej krajine*. NPPC–VÚPOP, Bratislava. 69 s. ISBN 978–80–8163–012–5.
- TAKÁČ, J. – NOVÁKOVÁ, M. – ŠIŠKA, B. – MALATINSKÁ, L. 2010. Očakávané zmeny vodnej bilancie na Slovensku v dôsledku zmeny klímy podľa scenára SRES A1B. *Vedecké práce VUPOP*, 32, Bratislava. ISBN 978–80–89128–82–2. 101–115.
- UNEP, 1997. *World Atlas of Desertification*. 2. ed. ISBN 340691662. 182 pp.
-

BILANCIA VYUŽITELNEJ VODY V PÔDE V REGIÓNE PODUNAJSKEJ NÍŽINY V OBDOBÍ 1961 – 2015

AVAILABLE SOIL WATER BALANCE IN THE DANUBE LOWLAND REGION IN THE YEARS 1961 – 2015

Jozef Takáč, Rastislav Skalský, Rastislav Dodok, Dalibor Kusý

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy,
Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, email: j.takac@vupop.sk*

ABSTRAKT

Hodnotenie vývoja zásob využiteľnej pôdnej vody v regióne Podunajskej nížiny bolo založené na simuláciách modelom DAISY. Simulácie boli vykonané v oševnom postupe s tromi poľnými plodinami (ozimná pšenica, jarný jačmeň, kukurica) na piatich pôdnych typoch v štyroch klimatických subregiónoch za obdobie 1961 – 2015. Simulácie potvrdili trend postupného vysušovania regiónu. Pokles zásob pôdnej vody v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 v čase od sejby do zberu plodín bol zistený vo všetkých uvažovaných klimatických subregiónoch s výnimkou juhovýchodu Podunajskej nížiny. Vzhľadom na skutočnosť, že vo všetkých subregiónoch došlo v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 k miernemu zvýšeniu zrážkových úhrnov, pokles zásob vody v pôde bol evidentne spôsobený nárastom vlhovej potreby plodín v dôsledku vyšších teplôt vzduchu.

Kľúčové slová: využiteľná zásoba pôdnej vody, pôdny typ, vodný stres, modelovanie, vodou limitovaná úroda

ABSTRACT

Assessment of the available soil water content in the Danube lowland region was based on the simulations model DAISY. Simulations were performed in the crop rotation of three field crops (winter wheat, spring barley, corn) on five soil types in four climatic sub-regions for the period 1961 – 2015. Simulations confirmed the trend of a gradual desertification of the region. The decline in soil water storage in a period of 1991 – 2015 compared to 1961 – 1990 from sowing to harvest has been found in all of the climatic sub-regions with the exception of the Southeast part of the Danube lowland. In view of the fact that precipitations have increased slightly in all sub-regions in the period of 1991 – 2015 comparing to 1961 – 1990, the decline in the soil water storage caused by the increase of the crop as a result of increased crop water demands due to higher temperature.

Keywords: available soil water content, soil type, water stress, modelling, water limited yield

ÚVOD

Obsah vody v pôde je jedným z najdynamickejších parametrov ovplyvňujúcich pôdne procesy, rast a vývoj rastlín. Vodný režim pôdy citlivo reaguje na zmeny režimu klimatických činiteľov. Klimatické podmienky sú hlavným prírodným faktorom určujúcim medziročnú variabilitu úrod. V období 1881 – 2013 bol pozorovaný významný vzostup priemernej ročnej teploty o 1,8 °C a nevýrazný pokles zrážkových úhrnov o 1,3 %. Ako uvádza 6. Národná správa SR o zmene klímy (2013), klimatické podmienky v období 1991 – 2000 a hlavne v období 2001 – 2010 dosiahli podmienky predpokladané podľa scenárov zmeny klímy pre časový horizont 2030.

V ostatných rokoch bol pozorovaný postupný trend vysušovania krajiny, predovšetkým v južných oblastiach Slovenska. Podľa meteorologických pozorovaní sa v posledných desaťročiach na našom území oveľa častejšie vyskytovalo lokálne alebo celoplošné sucho. Zmenilo sa rozdelenie atmosférických zrážok a ich intenzita. Podľa 6. Národnej správy SR o zmene klímy (2013) sa silné sucho vyskytlo v rokoch 1990 – 1994, 2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2011 a 2012. Uvažuje sa, že dôsledkom zvýšeného výskytu sucha, je nielen množstvo a rozdelenie zrážok, ale aj zvyšujúce sa teploty vzduchu a tým narastajúce požiadavky na evapotranspiráciu.

Naše hlavné poľnohospodárske produkčné oblasti sa nachádzajú v nížinách, pre ktoré sú vo vegetačnom období typické nižšie zrážkové úhrny ako sú úhrny potenciálnej evapotranspirácie. Teplá nížinná klíma a výparný režim pôd spôsobujú nedostatočné zásobovanie poľnohospodárskych plodín vodou. Vodná bilancia tak významnou mierou ovplyvňuje tvorbu úrod poľnohospodárskych plodín, nakoľko vodný stres je významným faktorom limitujúcim výšku úrod v regióne a tak je prirodzené, že pri hodnotení vplyvu klímy na poľnohospodársku výrobu v Slovenskej republike bola zdôrazňovaná úloha vodného režimu pôdy.

Zvýšenie teploty spolu so zmenami v rozložení zrážok a zrážkových úhrnoch sa odrazí v zmenách jednotlivých prvkov vodnej bilancie. Výsledky simulácií vodného režimu pôdy na Žitnom ostrove potvrdili trend poklesu priemernej zásoby vody v pôde a postupného predlžovania trvania obdobia s vlhkosťou pôdy v rozmedzí semiaridného a aridného intervalu (TAKÁČ, 1999). Podľa scenárov zmeny klímy aplikovaných pre územie Slovenska sa na Podunajskej nížine prehĺbi nedostatok vody v pôde vo vegetačnom období (TAKÁČ, 2001, TAKÁČ *et al.*, 2008). Z výsledkov hodnotenia vplyvov klimatickej zmeny na poľnohospodárske výrobné oblasti Slovenska vyplynulo, že vyrovnaná klimatická vodná bilancia sa posunie z úrovne 550 na 650 m n. m. Vlahová zabezpečenosť plodín s vegetačným obdobím v jarných mesiacoch sa podľa vypočítaných priemerných hodnôt zlepší, zvýši sa však variabilita. Naopak, vlahová zabezpečenosť plodín s vegetačným obdobím v letných mesiacoch sa zhorší (TAKÁČ, ŠIŠKA, LAPIN, 2009). Významná časť územia (8 800 km²) v poľnohospodársky najvýznamnejších oblastiach bude charakterizovaná priemerným deficitom $E_0 - R > 250$ mm (ŠIŠKA, TAKÁČ, 2009). V teplej a suchej klíme Podunajskej nížiny bude produkčný potenciál vo zvýšenej miere limitovaný klesajúcou dostupnosťou vody pre plodiny a horúčavami (EITZINGER *et al.*, 2013).

Cieľom príspevku je na základe simulácií modelom DAISY vyhodnotiť zásoby využiteľnej vody v pôde v regióne Podunajskej nížiny a trendy ich vývoja v období 1961 – 2015.

MATERIÁL A METÓDY

Hodnotenie produkčnej účinnosti vody bolo založené na numerických simuláciách agroekologickým modelom DAISY. DAISY je jednorozmerný model agroekosystému, ktorý na základe informácie o spôsobe hospodárenia a údajov o počasí simuluje rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciu organickej hmoty a dynamiku dusíka v poľnohospodárskych pôdach. V rámci hydrologického cyklu je simulované prúdenie vody v pôdnej matici a v makropóroch, akumulácia a topenie snehovej pokrývky, infiltrácia, výtopa, povrchový odtok, výpar z porastu a intercepcia. V rámci rastlinnej produkcie je modelovaný rast a vývoj rastliny vrátane akumulácie sušiny a dusíka v rôznych častiach rastliny. Model umožňuje budovanie komplexných scenárov hospodárenia (HANSEN *et al.*, 1990, ABRAHAMSEN, HANSEN, 2000).

Plodinový model je najkomplexnejšou časťou modelu DAISY. Tento model rozlišuje listy, steblá, korene a zásobné orgány rastliny. Hlavné procesy rastu rastliny, ktoré model simuluje, sú fotosyntéza, respirácia, rozdelenie asimilátov, odumieranie listov a koreňov, stresové faktory a štruktúra porastu. Fotosyntéza je počítaná ako funkcia indexu listovej pokrývnosti *LAI*, globálneho žiarenia, teploty vzduchu a vodného a dusíkového stresu. Rýchlosť vývinu plodiny je daná funkciami teploty a dĺžky dňa (HANSEN, 2000).

Plodinové moduly modelu DAISY boli pôvodne kalibrované pre slovenské podmienky v rámci projektu PHARE/EC/WAT/1 (Takáč, 1994). Plodinové parametre modelu boli pre slovenské podmienky optimalizované a verifikované na základe experimentálnych údajov z poľného pokusu na VPS VÚZH v Moste pri Bratislave a PD Lehnice (TAKÁČ, 1994, TAKÁČ a ŠÍŠKA, 2011). Spôhlivosť modelu bola preukázaná vo viacerých porovnávacích štúdiách (DIEKKRÜGER *et al.*, 1995, IGAZ *et al.*, 2008, PALUSAO *et al.*, 2011, RÖTTER *et al.*, 2012).

Tabuľka 1 Základná charakteristika vybraných regiónov. (pôdny typ: CA – čiernica, CM – černoziem, CMc – černoziem čiernicová, FM – fluvizem, HM – luvizem; hydrolimity: PK – poľná kapacita, BV – bod vädnutia, VVK – využitelná vodná kapacita)

Región / meteorologická stanica	Pôdny typ	Výmera [ha]	Výmera* [%]	PK [mm]	BV [mm]	VVK [mm]
Severozápad 11819 Jaslovské Bohunice	CA	5 936	8	420	216	204
	CM	26 796	36	408	171	237
	CMc	4 982	7	387	147	240
	FM	5 476	7	384	144	240
	HM	29 891	40	408	177	231
Severovýchod 11855 Nitra	CA	2 481	4	432	228	204
	CM	22 500	33	420	171	249
	CMc	3 251	5	372	159	213
	FM	4 928	7	408	159	249
	HM	33 867	50	423	195	228

*Výmera [%] je podiel z výmery jednotlivých regiónov

Región / meteorologická stanica	Pôdny typ	Výmera [ha]	Výmera* [%]	PK [mm]	BV [mm]	VVK [mm]
Juhozápad 11816 Bratislava – letisko	CA	26 593	14	423	207	216
	CM	10 258	6	396	147	249
	CMc	87 819	47	384	132	252
	FM	41 939	23	384	117	267
	HM	15 684	8	408	213	195
Juhovýchod 11858 Hurbanovo	CA	60 844	18	423	219	204
	CM	108 520	32	408	168	240
	CMc	52 578	15	384	147	237
	FM	45 407	13	387	147	240
	HM	71 415	21	429	210	219

*Výmera [%] je podiel z výmery jednotlivých regiónov

Územie Podunajskej nížiny bolo rozdelené do štyroch klimatických regiónov. V každom z regiónov bolo identifikovaných päť dominantných pôdnych typov pokrývajúcich 99 % poľnohospodárskej pôdy – černoze (CM), luvizeme (HM), fluvizeme (FM), černoze čiernicové (CMc) a čiernice (CA) (Tab. 1). Výmera študovaného územia bola 672 000 ha. Pôdne horizonty pôdnych profilov boli definované zrnitosným zložením, objemovou hmotnosťou, parametrami retenčnej čiary, nasýtenou hydraulickou vodivosťou, obsahom humusu a pomerom C:N. Charakteristiky pôdnych profilov boli získané z databázy Informačného systému o pôde (LINKES *et al.*, 1988). Chýbajúce parametre retenčnej čiary a hydraulickej vodivosti boli odhadnuté pomocou pedotransfernej funkcie HYPRES (WÖSTEN *et al.*, 1999).

Numerické simulácie boli vykonané pre obdobie 1961 – 2015 s radmi denných hodnôt globálneho žiarenia, teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra a atmosférických zrážok zo štyroch meteorologických staníc reprezentujúcich jednotlivé regióny v oševných postupoch, do ktorých boli zaradené plodiny: kukurica siata na zrno, jačmeň jarný a pšenica letná forma ozimná. V simuláciách boli uvažované optimálne dávky hnojenia tak, aby plodiny netrpeli živinovým stresom. Vypočítané úrody môžeme chápať ako vodou limitované.

Tabuľka 2 Priemerné ročné klimatické charakteristiky vybraných regiónov v obdobiach 1961 – 1990 a 1991 – 2015

Charakteristika	Obdobie	Jaslovské Bohunice	Nitra	Bratislava	Hurbanovo
Teplota vzduchu [°C]	1961 – 1990	9,2	9,7	9,8	10,0
	1991 – 2015	10,1	10,2	10,6	11,0
Zrážky [mm]	1961 – 1990	548	536	577	523
	1991 – 2015	567	537	581	573
Pot. evapotranspirácia [mm]	1961 – 1990	736	726	769	786
	1991 – 2015	859	839	890	845

Hodnotenie bolo rozdelené do dvoch časových období, a to v normálnom období

1961 – 1990 a v období 1991 – 2015. Denné meteorologické údaje poskytol Slovenský hydro-meteorologický ústav Bratislava pre potreby určenia znevýhodnených poľnohospodárskych území (TAKÁČ *et al.*, 2010) a pre aplikáciu a aktualizáciu národného systému pre odhad úrod (KLIKUŠOVSKÁ, 2015). Základné klimatické charakteristiky vybraných meteorologických staníc sú uvedené v tabuľke 2. Z tabuľky je zrejmé, že, priemerná ročná teplota na Podunajskej nížine vzrástla v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 o 0,5–1 °C. V rovnakom období sa zvýšili priemerné ročné úhrny atmosférických zrážok, najviac v juhovýchodnej časti nížiny reprezentovanej meteorologickou stanicou Hurbanovo. Výrazne stúpla potenciálna evapotranspirácia, na juhovýchode nížiny o 8 %, v ostatných častiach nížiny o 16 %.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

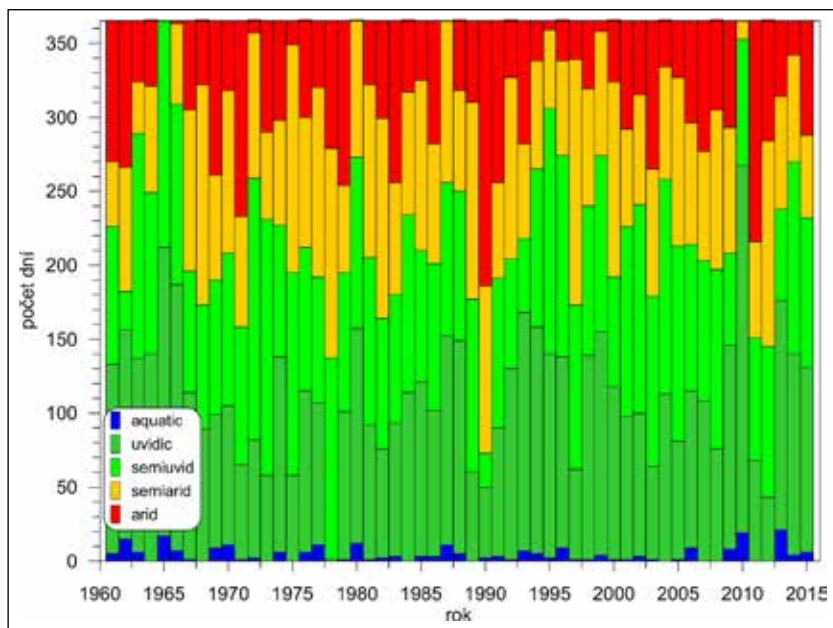
Je známou skutočnosťou, že zásoba vody v pôde sa pravidelne mení v ročnom cykle. Maximum zásob pôdnej vody je koncom zimy a minimum sa vyskytuje v letných mesiacoch. Podľa ekologickej klasifikácie vodného režimu pôdy (KUTÍLEK, 1978) sa vlhkosť pôdy na Podunajskej nížine pohybuje od akvatického po aridný interval. Vlhkosť pôdy v hyperaridnom intervale sa vyskytuje zriedka, aj to len v najhornejšej niekoľkokentimetrovej vrstve pôdy. V zimnom období prevláda semiuvidický interval vlhkosti pôdy, v letnom polroku semiaridný. Z hľadiska dopadov na pestované plodiny je rozhodujúce trvanie jednotlivých suchých periód. V priemere semiaridný a aridný interval v ornícovom horizonte černoze trvá 150 dní, raz za desať rokov viac ako 200 dní (Obr. 1). Zásoba vody v pôde kolíše aj medziročne. Mimoriadne sucho sa vyskytlo v roku 1990, keď vlhkosť pôdy sa v horizonte 0 – 30 cm pohybovala v aridnom intervale 179 dní a v semiaridnom intervale 113 dní, spolu to bolo 292 dní s vlhkosťou pôdy pod bodom nižšej dostupnosti. Druhým najsuchším rokom bol rok 1978 so sumárnym trvaním semiaridného a aridného intervalu 228 dní. V roku 2012 bolo 221 dní a v roku 2011 214 dní s vlhkosťou pôdy v týchto dvoch intervaloch.

Pri štúdiu bilancie vody v pôde v poľných podmienkach pozorujeme významnú variabilitu získaných hodnôt, ktorá je spôsobená predovšetkým heterogenitou pôdneho krytu. Táto heterogenita pôdneho krytu podmieňuje variabilitu hydrofyzikálnych vlastností pôdy a cez ňu priestorovú diferencovanosť vlhkosti pôdy.

Tabuľka 3 Vážené priemery priemernej ročnej zásoby vody v pôde W (mm) a priemernej ročnej využiteľnej zásoby vody v pôde VZV (mm, % VVK) podľa pôdneho typu v obdobiach 1961 – 1990 a 1991 – 2015

Pôdny typ	1961 – 1990			1991 – 2015		
	W [mm]	VZV [mm]	VZV [%VVK]	W [mm]	VZV [mm]	VZV [%VVK]
CA	320	139	75	315	134	73
CM	259	120	55	255	115	53
CMc	273	154	70	267	147	67
FM	270	154	68	265	149	67
HM	275	115	57	271	111	55

Obrázok 1 Počet dní s vlhkosťou pôdy v jednotlivých intervaloch podľa ekologickej klasifikácie vodného režimu pôdy (KUTÍLEK, 1978) v černozezi na juho-východe Podunajskej nížiny v pôdnom horizonte 0 – 30 cm v období 1961 – 2015

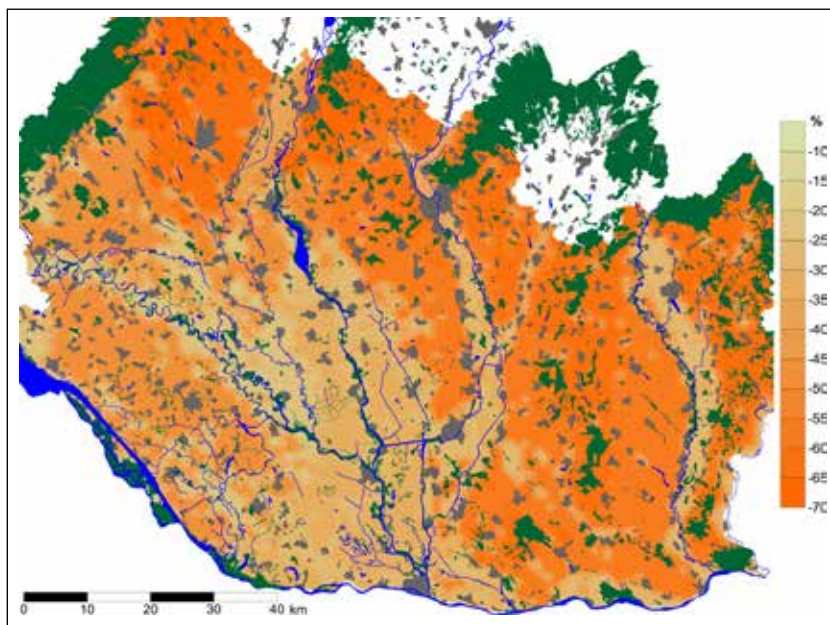


Vplyv pôdnych vlastností na využiteľné množstvo vody pre plodiny je evidentný z porovnania priemernej zásoby využiteľnej vody v pôde podľa pôdnych typov (Tab. 3). Najmenšia priemerná zásoba využiteľnej pôdnej vody bola simulovaná pre hnedozeme a černoze, najväčšia pre černoze čiernicové a fluvizeme. Vlhkosť pôdy na všetkých pôdnych typoch vykazuje okrem priestorovej aj značnú časovú variabilitu. Najmenšiu medziročnú variabilitu VVK mali čierne, najväčšiu černoze a hnedozeme. Z porovnania období 1961 – 1990 a 1991 – 2015 je vidieť pokles zásob využiteľnej vody v pôde približne o 5 mm, resp. 2 % VVK, čo predstavuje v prepočte na hodnotenú plochu pomerne značný objem 33,6 mil. m³.

V dôsledku časovej variability počasia aj zásoba vody v pôde medziročne kolíše. Najmenšia zásoba vody v pôde bola simulovaná v roku 1990. Najvýraznejšie sa sucho v roku 1990 prejavilo na letných plodinách. V závislosti od pôdneho typu bola zásoba vody v pôde v roku 1990 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 nižšia o 20 až 68 % (Obr. 2), pričom najvyšší rozdiel bol zaznamenaný na hnedozemiach (47 až 68 %). Najmenší deficit v porovnaní s dlhodobým priemerným stavom bol simulovaný pre oblasti riečnych nív a na dolnom Žitnom ostrove, teda v oblastiach s menším či väčším vplyvom hladiny podzemnej vody.

Pokles zásob pôdnej vody v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 v čase od sejby do zberu plodín bol simulovaný vo všetkých regiónoch s výnimkou juhovýchodného. V tomto regióne reprezentovanom meteorologickou stanicou v Hurbanove bola na černozeziach a hnedozemiach vypočítaná v období 1991 – 2015 vyššia priemerná zásoba vody v pôde pri jarnom jačmeni a kukurici, pri ozimnej pšenici dokonca na všetkých pôdach (Tab. 4).

Obrázok 2 Rozdiel v zásobe využiteľnej vody v pôde v horizonte 0–100 cm [%] v roku 1990 v porovnaní s obdobím 1961–1990

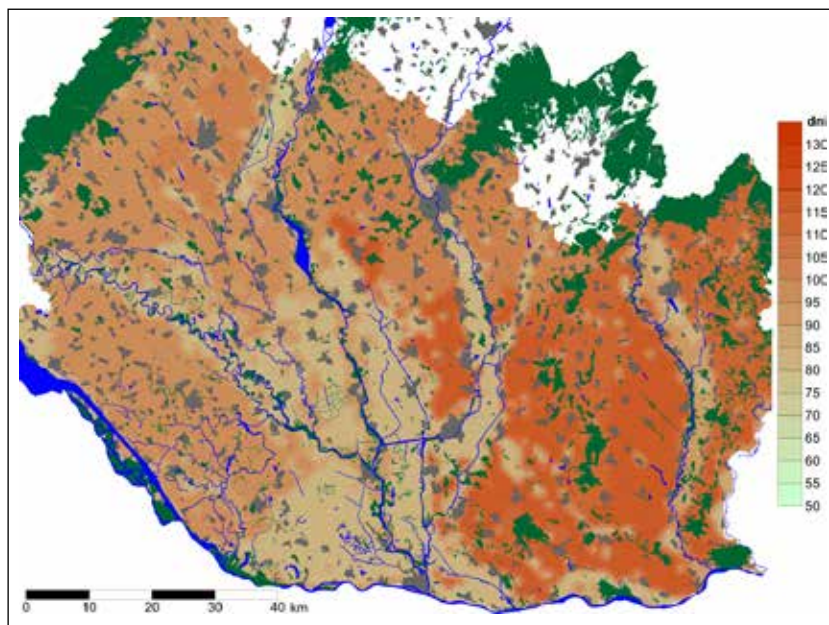


Tabuľka 4 Priemerné ročné hodnoty zásoby využiteľnej vody VVK [mm] od sejby do zberu za obdobie 1961–1990 a 1991–2015 podľa simulácií modelom DAISY

	Pôdny typ	jačmeň jarný		ozimná pšenica		kukurica na zrno	
		1961–1990	1991–2015	1961–1990	1991–2015	1961–1990	1991–2015
Hurbanovo	CM	107	112	130	142	75	77
	CMc	161	160	190	193	125	120
	CA	127	126	155	157	99	93
	FM	146	145	174	177	105	102
	HM	93	97	115	126	64	65
Bratislava	CM	129	111	154	141	91	77
	CMc	132	116	157	145	94	81
	CA	134	123	159	153	93	83
	FM	154	140	183	176	106	90
	HM	123	108	146	137	85	74
Nitra	CM	115	104	140	131	84	70
	CMc	156	148	181	175	117	101
	CA	125	115	152	146	96	77
	FM	145	134	172	165	106	90
	HM	110	100	134	126	79	65

	Pôdny typ	jačmeň jarný		ozimná pšenica		kukurica na zrno	
		1961 – 1990	1991 – 2015	1961 – 1990	1991 – 2015	1961 – 1990	1991 – 2015
Jaslovské Bohunice	CM	124	118	150	147	95	85
	CMc	155	150	181	180	117	105
	CA	138	132	160	159	104	91
	FM	152	147	178	174	116	105
	HM	120	115	146	145	91	82

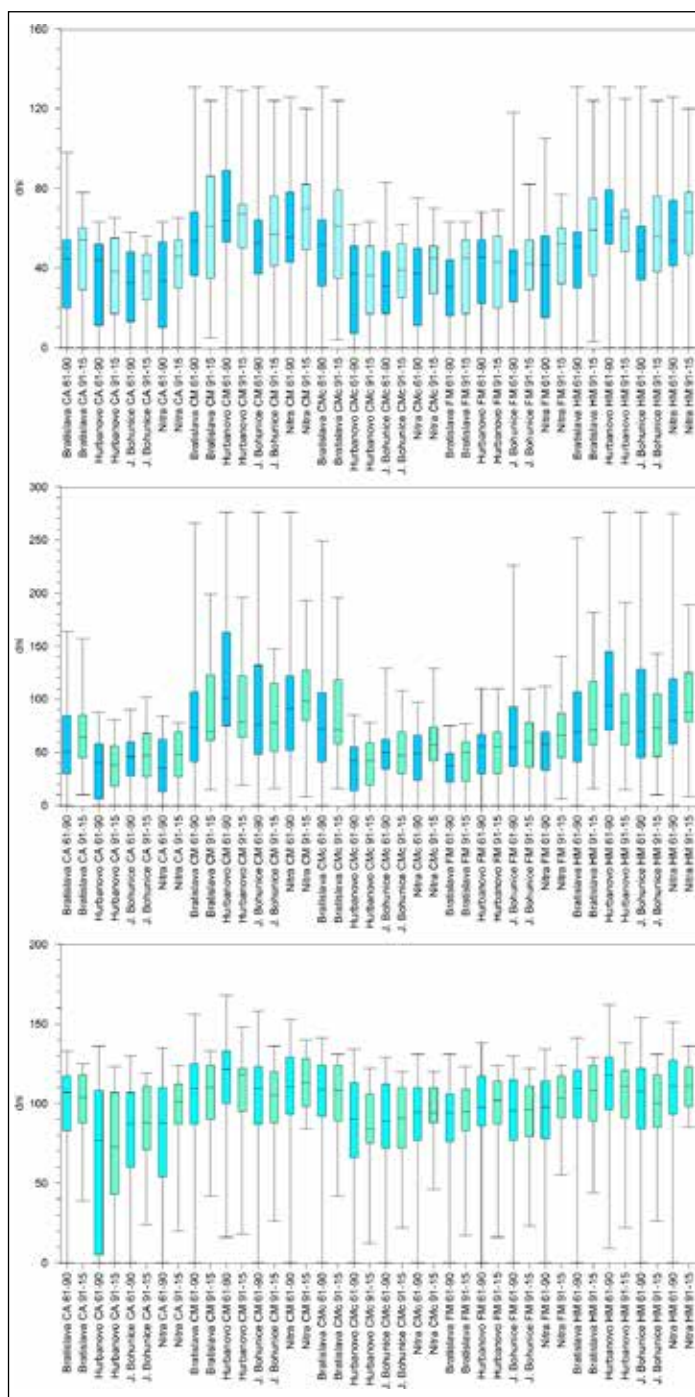
Obrázok 3 Priemerný počet dní so zásobou využiteľnej vody v pôde pod porastom kukurice v horizonte 0 – 100 cm menšou ako 50 % VKK v období 1961 – 1990



Najväčší priemerný počet dní so zásobou vody v pôde menšou ako 50 % VKK bol zistený na černozeiach a hnedozemiach na juhovýchode nížiny, najmenší počet dní na čierniciach a černozeiach čiernicových na juhovýchode nížiny a na čierniciach na severovýchode nížiny. Pre juhovýchod nížiny je teda typická vysoká priestorová variabilita zásob vody v pôde. Vzhľadom na prevládajúce černoze a hnedozeme je vo východnej časti Podunajskej nížiny vyšší výskyt dní so zásobou využiteľnej vody menšou ako 50 % VKK ako v jej západnej časti (Obr. 3).

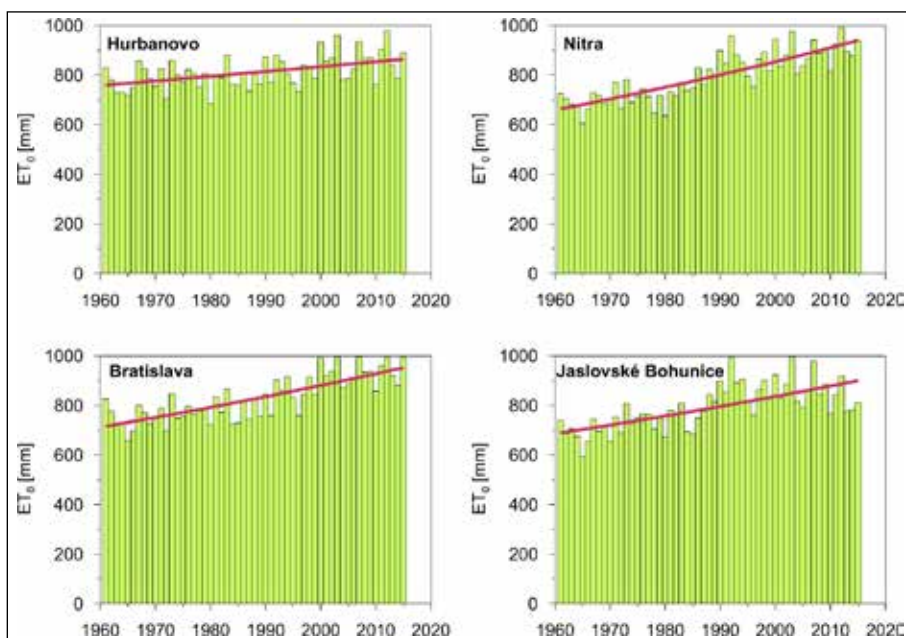
S výnimkou juhovýchodu Podunajskej nížiny sa v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 od seby do zberu zvýšil počet dní so zásobou vody v pôde pod 50 % VKK, a to v závislosti od plodiny a pôdneho typu v priemere o 2 – 17 dní. Najmenší počet dní s vlhkosťou pôdy pod hranicou 50 % VKK bol simulovaný pre jarný jačmeň, najväčší pre kukuricu. Naopak, juhovýchode nížiny poklesol priemerný počet so zásobou pôdnej vody pri jarnom jačmeni o 4 dni, pri kukurici o 5 dní a pri ozimnej pšenici dokonca o 16 dní, na černozeiach a hnedozemiach dokonca až o 28 dní.

Obrázok 4 Štatistické charakteristiky počtu dní so zásobou vody v pôde v horizonte 0 – 100 cm menšou ako 50% VVK pod porastmi jarného jačmeňa, ozimnej pšenica a kukurice na zrno v období 1961 – 1990 a 1991 – 2015



Najviac dní so zásobou vody v pôde nižšou ako 50 % VVK sa vyskytlo v rokoch 1990, 1978 a 2012. Najväčšia medziročná variabilita zásob vody v pôde podľa hodnoty medzikvartilového rozpätia, viac ako 100 dní, bola zaznamenaná na čerozemiach čiernicových na juhovýchode nížiny a na čierniciach v oboch severných regiónoch (Obr. 4), podľa rozpätia medzi priemernými hodnotami horného a dolného decilu na čerozemiach čiernicových na juhozápade a na fluvizemiach na severozápade. V období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 sa hodnoty medzikvartilového rozpätia znížili v priemere o 26 dní. Medzidecilové rozpätie v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 pokleslo v priemere o dva dni, najviac na severozápade, a to o 25 dní. Naopak, na juhozápade vzrástlo v priemere o 9 dní.

Obrázok 5 Ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie na vybraných meteorologických staniách v období 1961 – 2015



Vzhľadom na skutočnosť, že vo všetkých regiónoch došlo v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 k miernemu zvýšeniu zrážkových úhrnov, pokles zásob vody v pôde bol evidentne spôsobený nárastom vlhovej potreby plodín v dôsledku vyšších teplôt vzduchu. V dôsledku zvyšujúcich sa teplôt narastajú úhrny potenciálnej evapotranspirácie a tým aj hodnoty vlhovej potreby plodín. Vývoj potenciálnej evapotranspirácie na vybraných staniách v období 1961 – 2015 je znázornený na obrázku 5. V rokoch 1991 – 2015 sa na Podunajskej nížine v porovnaní s rokmi 1961 – 1990 v období od sejby do zberu zvýšili priemerné úhrny potenciálnej evapotranspirácie pri jarnom jačmeni o 28 mm, pri ozimnej pšenici o 25 mm a pri kukurici o 56 mm. O nepatrne vyššie hodnoty sa zvýšili aj hodnoty vlhovej potreby plodín. Najväčší nárast vlhovej potreby plodín bol zaznamenaný v regióne Nitry na severovýchode Podunajskej nížiny (jačmeň jarný 50 mm, ozimná pšenica 62 mm, kukurica 92 mm), najmenší na juhovýchode nížiny (jačmeň jarný 16 mm, ozimná pšenica 5 mm, kukurica 34 mm).

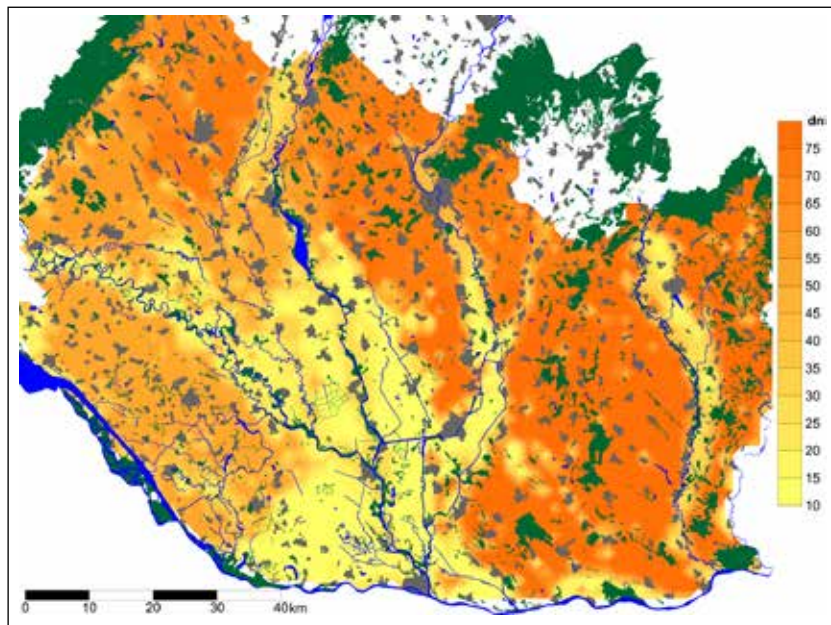
Najväčšia časť pôdnej vody počas vegetačného obdobia sa spotrebuje na transpiráciu plodín. Pri nedostatku využiteľnej vody v pôde trpia plodiny vodným stresom. Podľa výsledkov simulácií modelom DAISY trpela vodným stresom na Podunajskej nížine v období 1961 – 1990 ozimná pšenica v priemere 8 dní, jarný jačmeň 9 dní a kukurica 20 dní. V období 1991 – 2015 sa priemerný počet dní s vodným stresom pri týchto plodinách zvýšil na 11, 14 a 23. Najviac trpia plodiny vodným stresom na černozeiach a hnedozemiach (Tab. 5). V dvoch po sebe idúcich rokoch 1990 a 1991 bola kukurica na hnedozemi na severovýchode nížiny reprezentovanom meteorologickou stanicou Nitra postihnutá vodným stresom až 73 dní, resp. 69 dní (Obr. 6).

Tabuľka 5 Priemerný počet dní s vodným stresom vybraných plodín za obdobie 1961 – 1990 a 1991 – 2015 podľa simulácií modelom DAISY

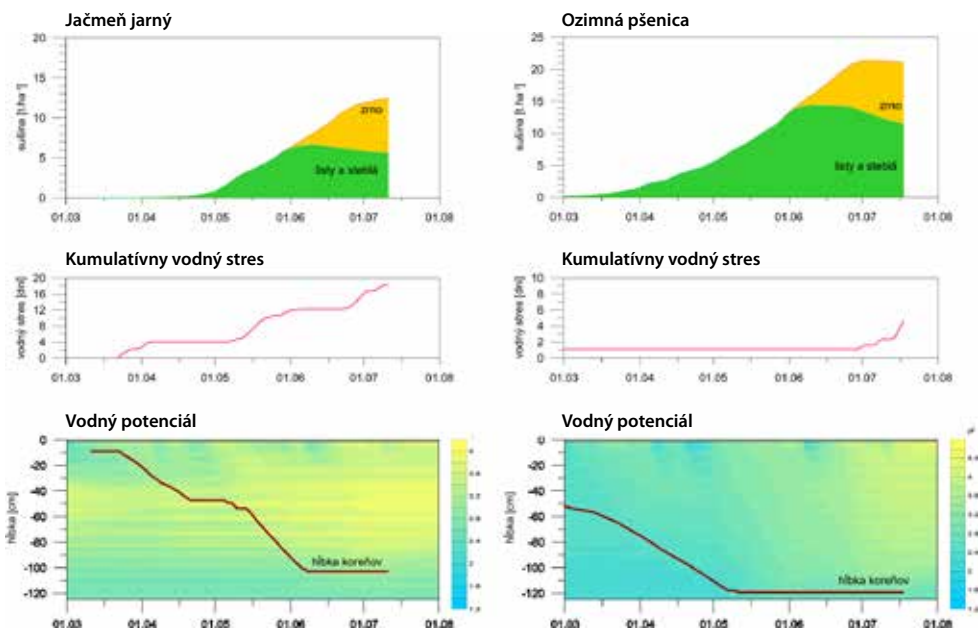
	Pôdny typ	jačmeň jarný		ozimná pšenica		kukurica na zrno	
		1961–1990	1991–2015	1961–1990	1991–2015	1961–1990	1991–2015
Hurbanovo	CM	14,41	17,18	14,44	13,92	32,66	29,31
	CMc	3,28	5,06	1,70	2,11	3,37	5,45
	CA	3,97	5,38	1,73	1,91	3,15	5,56
	FM	4,78	7,11	3,84	5,20	11,05	12,94
	HM	14,09	16,96	15,17	14,47	33,97	30,28
Bratislava	CM	10,39	18,70	8,47	14,95	23,76	32,60
	CMc	10,93	19,27	8,88	15,14	23,76	32,52
	CA	6,20	12,75	5,71	10,20	17,54	25,75
	FM	1,62	5,87	1,27	4,06	5,59	13,10
	HM	11,26	19,32	9,84	15,89	25,28	33,63
Nitra	CM	10,29	19,42	9,77	17,22	24,78	35,67
	CMc	6,15	12,35	4,48	9,11	10,79	21,15
	CA	2,81	7,97	1,65	4,24	3,25	11,01
	FM	4,17	9,79	3,57	8,39	11,40	22,06
	HM	10,82	19,70	10,51	17,80	25,91	36,53
Jaslovské Bohunice	CM	12,36	18,14	10,12	13,76	21,79	29,08
	CMc	5,79	9,96	3,39	6,23	7,59	14,52
	CA	7,19	11,51	3,71	6,85	6,45	13,44
	FM	7,92	12,01	5,10	7,88	12,23	19,12
	HM	12,51	18,78	10,42	13,73	22,42	29,27

Zásobu vody v pôde ovplyvňuje aj predplodina, čo sa výrazne prejavuje hlavne v suchých rokoch, akým bol rok 1990. Ako vidieť na Obr. 7, v tomto roku bolo simulované pod porastom jarného jačmeňa s predplodinou kukuricou na zrno menšie množstvo dostupnej vody a viac dní s vodným stresom ako pod porastom ozimnej pšenice s predplodinou jarným jač-

Obrázok 6 Počet dní s vodným stresom pod porastom kukurice na zrno v roku 1990

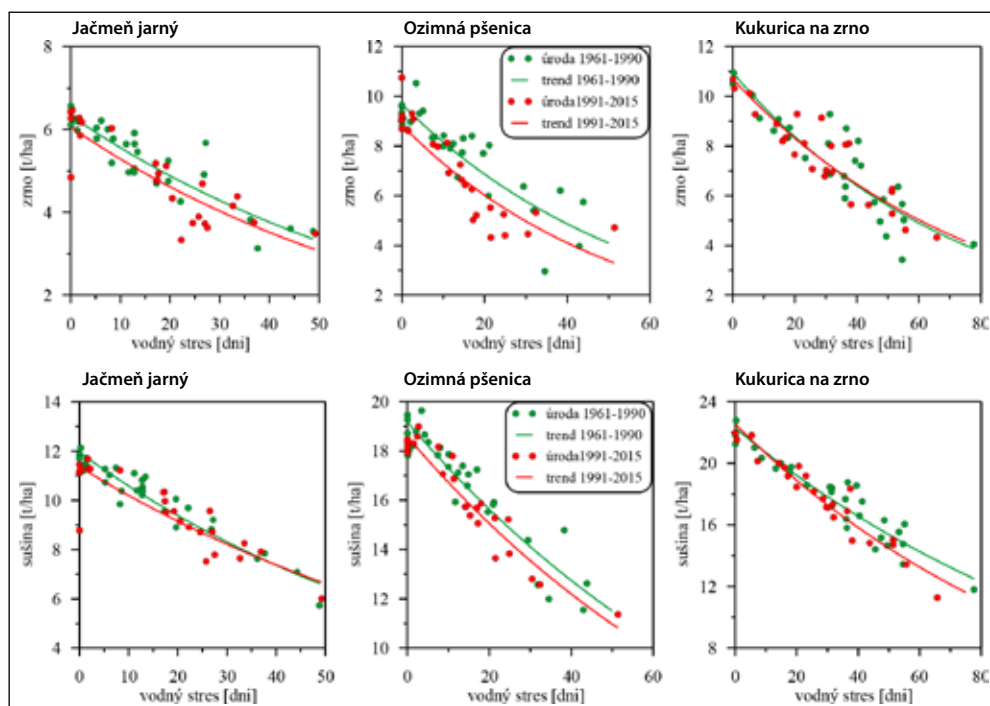


Obrázok 7 Vývoj plodín, kumulatívneho vodného stresu a vodného potenciálu pôdy na černoze na severovýchode Podunajskej nížiny v suchom roku 1990

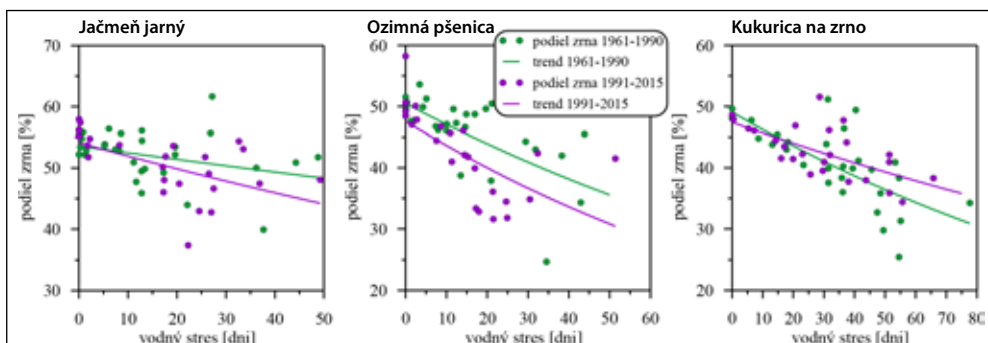


meňom, pričom nedostatok vody sa v prípade jarného jačmeňa začal prejavovať už na začiatku vegetačného obdobia, kým v prípade ozimnej pšenice až v čase dozrievania. Nedostatok vody v pôde a ním vyvolaný vodný stres tak limituje rast plodín a tým aj hospodárske úrody. Všeobecne platí, že s rastúcim počtom dní s vodným stresom úrody plodín majú klesajúcu úroveň, pričom v závislosti od fázy vývoja plodiny sa dopady na výšku hospodárskych úrod môžu líšiť aj o niekoľko ton (Obr. 8). V závislosti od obdobia výskytu sucha sa líši aj podiel zrna na celkovej úrode nadzemnej biomasy (Obr. 9). Priestorová diferenciácia vodou limitovaných hospodárskych úrod kukurice v roku 1990 je znázornená na obrázku 10. Ako vidieť, najnižšie potenciálne vodou limitované úrody kukurice v tomto roku boli simulované na černozeiach a hnedozemiach vo východnej časti nížiny s prevažujúcim výskytom černozei a hnedozemí.

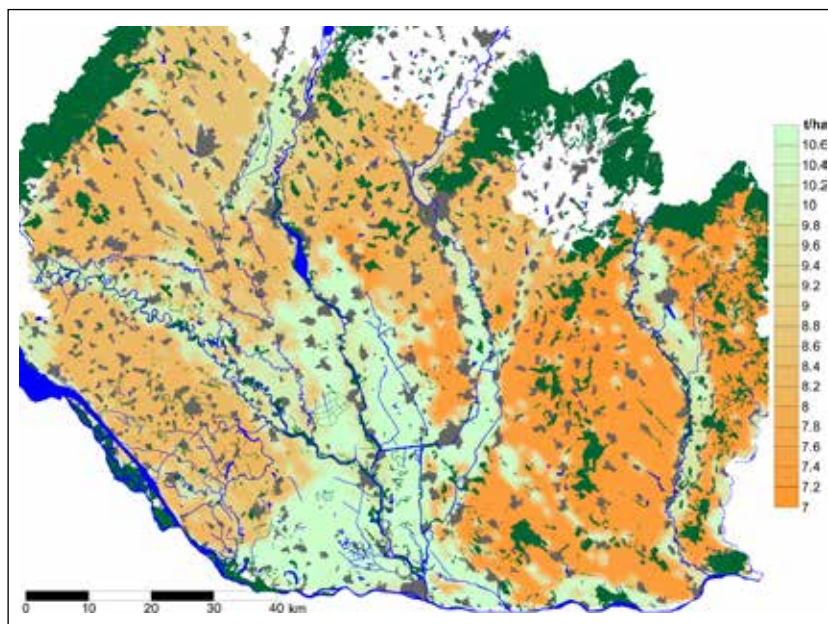
Obrázok 8 Vzťah medzi počtom dní s vodným stresom a úrodou zrna a sušiny vybraných plodín na černozeiach na juhovýchode Podunajskej nížiny v období 1961 – 1990 a 1991 – 2015



Obrázok 9 Vzťah medzi počtom dní s vodným stresom a podielom zrna na sušine vybraných plodín na černoze na juhovýchode Podunajskej nížiny v období 1961 – 1990 a 1991 – 2015



Obrázok 10 Simulovaná vodou limitovaná úroda kukurice na zrno [$t \cdot ha^{-1}$] na Podunajskej nížine v roku 1990



ZÁVER

Výsledky získané simuláciami agroekologickým modelom DAISY potvrdili výraznú priestorovú diferencovanosť zásob vody v pôde spôsobenú heterogenitou pôdneho krytu. Najmenšia priemerná zásoba využiteľnej pôdnej vody bola simulovaná pre hnedozeme a černoze,

najväčšia pre černoze a čiernicové a fluvizeme. Simulácie potvrdili aj postupný trend vysušovania Podunajskej nížiny. Z porovnania období 1961 – 1990 a 1991 – 2015 je vidieť pokles zásob využiteľnej vody v pôde približne o 5 mm, resp. 2 % VVK. Pokles zásob pôdnej vody v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 v čase od sejby do zberu plodín bol simulovaný vo všetkých uvažovaných klimatických subregiónoch s výnimkou juhovýchodu nížiny reprezentovaného meteorologickou stanicou v Hurbanove. S výnimkou juhovýchodu nížiny sa v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 od sejby do zberu zvýšil počet dní so zásobou vody v pôde pod 50 % VVK, a to v závislosti od plodiny a pôdneho typu v priemere o 2 – 17 dní. Najviac dní so zásobou vody v pôde nižšou ako 50 % VVK sa vyskytlo v rokoch 1990, 1978 a 2012. Vzhľadom na skutočnosť, že vo všetkých regiónoch došlo v období 1991 – 2015 v porovnaní s obdobím 1961 – 1990 k miernemu zvýšeniu zrážkových úhrnov, pokles zásob vody v pôde bol evidentne spôsobený nárastom vlhovej potreby plodín v dôsledku vyšších teplôt vzduchu.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja projektom č. APVV-15-0406 *Inovácia systému pôdnych jednotiek v agrárnej krajine Slovenska - ich mapovanie, digitalizácia a vektorizácia*.

LITERATÚRA

- ABRAHAMSEN, P. – HANSEN, S. 2000. Daisy: An Open Soil, Crop, Atmosphere System Model. In *Environmental Modelling & Software*, vol. 15, 2000, no. 3, p. 313–330. ISSN 1364-8152.
- DIEKKRÜGER, B. – SÖNDGERATH, D. – KERSEBAUM, K.C. – McVOY, C.W. 1995. Validity of Agroecosystem Models: a Comparison of Results of Different Models Applied to the Same Data Set. In *Ecol. Model.* – 81, 3–29.
- EITZINGER, J. – TRNKA, M. – SEMERÁDOVÁ, D. – THALER, S. – SVOBODOVÁ, E. – HLAVINKA, P. – ŠIŠKA, B. – TAKÁČ, J. – MALATINSKÁ, L. – NOVÁKOVÁ, M. – DUBROVSKÝ M. – ŽALUD, Z. 2013. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. *Journal of Agricultural Science*. Vol.: 151 (6), pp. 782–812
- HANSEN, S. 2000. *Daisy, a Flexible Soil - Plant - Atmosphere System Model. Equation Section 1*. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University, 2000, p. 1–47. ISBN 87-503-8790-1.
- HANSEN, S. – JENSEN, H. E. – NIELSEN, N. E. – SVENDSEN, H. 1990. *DAISY – A Soil Plant System Model. Danish Simulation Model for Transformation and Transport of Energy and Matter in the Soil-Plant-Atmosphere System*. Copenhagen: National Agency for Environmental Protection, 1990. 272 p. ISBN 87 – 503-8790 – 1.
- IGAZ, D. – BÁREK, V. – HALAJ, P. – TAKÁČ, J. – ČIMO, J. 2008. A Comparison Of Measured Soil Moisture With Simulated Results Obtained By Selected Models. *Cereal Research Communications*, Vol. 36, 2008, pp. 1619–1622. ISSN 0133-3720.
- KLIKUŠOVSKÁ, Z. 2015. *Aplikácia a aktualizácia národného systému agrometeorologického modelovania pre odhad úrody a produkciu poľnohospodárskych plodín (SK_CGMS)*. Záverečná správa k riešeniu úlohy v rámci kontraktu s MPRV SR za rok 2014, NPPC-VÚPOP, Bratislava, 50 s.
- KUTÍLEK, M. 1978. *Vodohospodárska pedologie*. Praha: SNTL/ALFA, 1978. 296 s.
- LINKEŠ, V. – GROMOVÁ, A. – LUPTÁK, D. – PESTŮN, V. – POLIAK, P. – 1988. *Informačný systém o pôde*. Bratislava: Príroda, 198 s.
- MINISTRY OF THE ENVIRONMENT OF THE SLOVAK REPUBLIC AND THE SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE. 2013. *The Sixth National Communication of the Slovak Republic on Climate Change under United Nations Framework Convention on Climate Change and Kyoto Protocol*. Bratislava. 136 pp.

- PALOSUO, T. – KERSEBAUM, K.C. – ANGULO, C. – HLAIVINKA, P. – MORIONDO, M. – OLESEN, J.E. – PATIL, R.H. – RUGET, F. – RUMBAUR, CH. – TAKÁČ, J. – TRNKA, M. – BINDI, M. – CALDAG, B. – EWERT, F. – FERRISE, R. – MIRSCHEL, W. – SAYLAN, L. – ŠIŠKA, B. – RÖTTER, R. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models. In *European journal of agronomy*, vol. 35, no. 3, pp. 103–114. DOI: 10.1016/j.eja.2011.05.001.
- RÖTTER, R. – PALOSUO, T. – KERSEBAUM, K.C. – ANGULO, C. – BINDI, M. – EWERT, F. – FERRISE, R. – HLAIVINKA, P. – MORIONDO, M. – NENDEL, C. – OLESEN, J.E. – PATIL, R.H. – RUGET, F. – TAKÁČ, J. – TRNKA, M. 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models. In *Field Crops Research*, vol. 13, pp. 23–36. ISSN 0378-4290.
- ŠIŠKA, B. – TAKÁČ, J. 2009. Drought Analyse of Agricultural Regions as Influenced by Climatic Conditions in the Slovak Republic. *Időjárás*, vol. 113, no. 1–2, p. 135–143. ISSN 0324-6329.
- TAKÁČ, J. 1994. Verifikácia modelu DAISY – Simulovanie úrod obilnín. *Vedecké práce VÚZH* č. 21, VÚZH Bratislava, s. 95 – 104.
- TAKÁČ, J. 1999. Trends In Soil Water Regime In Model Conditions Of Žitný Ostrov. *Scientific Papers of the Research Institute of Irrigation Bratislava*, No. 24, VÚZH Bratislava: 189 – 201.
- TAKÁČ, J. 2001. Dôsledky zmeny klímy na bilanciu vody v poľnohospodárskej krajine. *Národný klimatický program SR 10/01*, SHMÚ, Bratislava, s. 16 – 26. ISBN 80-88907-24-1.
- TAKÁČ, J. – BÁREK, V. – HALAJ, P. – IGAZ, D. – JURÍK, Ľ. 2008. Possible Impact of Climate Change on Soil Water Content in Danubian Lowland. *Cereal Research Communications*, Vol. 36, 2008, pp. 1623 – 1626. ISSN 0133-3720.
- TAKÁČ, J. – NOVÁKOVÁ, M. – SKALSKÝ, R. – SOBOCKÁ, J. 2010. Identifikácia sucha na Slovensku s použitím klimatických kritérií. *Vedecké práce VUPOP*, 32, Bratislava. ISBN 978-80-89128-82-2. 88 – 100.
- TAKÁČ, J. – ŠIŠKA, B. 2011. Kalibrácia a validácia modelu DAISY pre podmienky Slovenska. *Vedecké práce VUPOP*, č. 33, Bratislava. 161 – 172. ISBN 978-80-89128-91-4.
- TAKÁČ, J. – ŠIŠKA, B. – LAPIN, M. 2009. Dôsledky zmeny klímy na vlhkovú zabezpečenosť poľných plodín podľa scenárov SRES A2 a B1. *Vedecké práce VUPOP*, 31, Bratislava. ISBN 978-80-89128-59-4. 187 – 200.
- WÖSTEN, J.H.M. – LILLY, A. – NEMES, A. – LE BAS, C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90: 169 – 185
-

VPLYV ERÓZIE PŮDY NA VYBRANÉ PŮDNE FYZIKÁLNE CHARAKTERISTIKY

IMPACT OF SOIL EROSION ON SELECTED SOIL PHYSICAL CHARACTERISTICS

Jozef Varga, Radoslava Kanianska

*Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta prírodných vied, Tajovského 40, 97401 Banská Bystrica,
e-mail: jozef.varga2@umb.sk*

Abstrakt

Cieľom práce je zhodnotiť vplyv erózie na vybrané fyzikálne vlastnosti pôdy s dvomi rôznymi spôsobmi využívania (orná pôda – OP, trvalý trávny porast – TTP). Penetrometrický odpor (v MPa), hĺbku merania (v m), pôdnu vlhkosť (v %) a pôdnu teplotu (v °C) pôdy sme skúmali na pôdnom type kambizem modálna na eróznom svahu v katastri obce Kečovo. Merania sme realizovali v roku 2015 v troch aspektoch (8. 4. 2015, 5. 5. 2015, 5. 10. 2015) v dolnej, strednej a hornej časti svahu na OP aj na TTP. Výsledky potvrdili rozdiely a kolísanie sledovaných hodnôt v každej časti svahu, aspekte a pri rôznom spôsobe využívania pôdy. V prípade pôdnej teploty v rámci celého súboru údajov bola najnižšia aj najvyššie nameraná teplota na ornej pôde v dolnej časti svahu. Porovnaním priemerných hodnôt pôdnej teploty a vlhkosti s rôznym spôsobom využívania sme zistili, že vo väčšine prípadov bola pôdna teplota vyššia na OP ako na TTP. Naopak, pôdna vlhkosť bola vo všetkých prípadoch vyššia na TTP ako na OP. Hĺbka merania penetrometrického odporu bola takmer vo všetkých prípadoch vyššia v dolnej oproti hornej časti svahu. Vo väčšine prípadov bol v dolnej, akumuláčnej časti svahu, nameraný aj vyšší penetrometrický odpor pôdy.

Kľúčové slová: kambizem, erózia, pôdna vlhkosť, pôdna teplota, penetrometrický odpor

Abstract

The main aim of the study is to assess the impact of erosion on selected physical soil characteristics with two different land use (arable land – AL, permanent grasslands – PG). We measured penetrometric resistance (in MPa), depth of measurement (in m), soil moisture (in %), and soil temperature (in °C) in Haplic Cambisol at erosion slope in the cadastre Kečovo. The measurements were done in 2015 (8 April, 5 May, 5 October) at lower, middle and upper part of the slope in the arable land and permanent grasslands. The results confirmed the differences and variability of measured values in every part of the slope, in time, and under different land use. Concerning to the soil temperature, in the whole file of measured data, the lowest and the highest values were measured in AL at the lower part of slope. We found out that in most cases mean soil temperature was higher in AL compared to PG. In opposite, soil moisture values were in all cases higher in PG compared to AL. The depths of penetrometric resistance

measurements were in almost all cases higher at the lower part compared to upper part of the slope. Similarly, the penetrometric resistance values were higher at the lower part of slope in most cases.

Keywords: Cambisol, erosion, soil moisture, soil temperature, penetrometric resistance

ÚVOD

Erózia pôdy je prirodzený proces často sprevádzaný antropogénnou činnosťou. Patrí medzi najvýznamnejšiu formu degradácie pôdy (BIELEK, 1996). Erodované plochy pritom nie sú len prejavom pôsobenia erózie v minulosti, ale sú aj nepriamym ukazovateľom súčasných procesov erózie, ako aj ohrozených území eróznym vplyvom v budúcnosti (ZACHAR, 1970).

Erózia pôdy sa môže prejavovať ireverzibilnými zmenami chemických, fyzikálnych ako aj biologických vlastností pôdy (JRC, 2012). Významným akceleračným vplyvom na eróziu sa vyznačuje intenzívna poľnohospodárska výroba zväčšujúca riziko erózie pôdy a tak často krát znižujúca schopnosť pôd poskytovať kvalitné ekosystémové a produkčné služby (STYK *et al.*, 2015).

Súčasný trendy sú smerované k uváženenému spôsobu obhospodarovania pôdy pomocou detailného manažmentu poznajúceho prírodné podmienky a pôdne zdroje (BIELEK, 1996). Špecializovaný výskum vybraných pôdných charakteristík môže prispieť k detailnejšiemu poznaniu pôd a následne tomu navrhnúť a prispôbiť manažérské opatrenia vedúce k ochrane pôdy a zachovaniu jej funkcií (McCAULEY *et al.*, 2005). Sledovanie fyzikálnych charakteristík podmienených klimatickými faktormi, ako sú pôdna teplota či pôdna vlhkosť, prispievajú k lepšiemu poznaniu vplyvu klímy na pôdne prostredie. Sú to charakteristiky citlivo reagujúce na extra-terestrické sily ako aj antropogénnu činnosť (ANTAL *et al.*, 2012).

Cieľom práce je zhodnotiť vplyv erózie na vybrané fyzikálne vlastnosti pôdy s dvomi rôznymi spôsobmi využívania.

MATERIÁL A METÓDY

Vplyv erózie na vybrané pôdne charakteristiky, pôdnu vlhkosť a teplotu pôdy, sme sledovali na eróznom svahu v katastrálnom území obce Kečovo. Územie sa nachádza v západnej časti Silickej planiny, ktorá patrí do orografického celku Slovenský kras. Z geomorfologického hľadiska predstavuje reliéf krasovej planiny, ktorého súčasťou sú tiež morfológicky výrazné strány na tektonických poruchách. Oblasť výskumu je čiastočne lokalizovaná nad jaskyňou Domica, ktorá je súčasťou vzácnnej krasovej krajiny nielen na národnej úrovni (NPR Domické škrapy), ale aj na medzinárodnej úrovni (jaskyne Slovenského krasu spolu s jaskyňami susedného Aggteleškého krasu sú evidované vo Svetovom prírodnom dedičstve). Geologický podklad tvoria horniny z obdobia mezozoika vnútorných Karpát, a to hlavne vápence a dolomity. Samotný Silický príkrov budujú horniny najmä triasové, no v menšej miere k nim pristupujú svahové a panvové fácie. Oblasť katastra nachádzajúca sa na juhozápadnej strane je budovaná

najmä pleistocénnymi sedimentami hlinito-kamenitými, až kamenitými, no v menšej miere sa vyskytujú pestré íly, štrky a piesky. V severnej časti sú dominujúce wetersteinské vápence a dolomity. Najčastejším pôdnym typom sú v sledovanom území rendziny s výskytom kambizemí (MAREK, 2008; SPS, 2014).

V roku 2015 sme v 3 aspektoch, prvý aspekt – 8. 4. 2015, druhý aspekt – 5. 5. 2015, tretí aspekt – 5. 10. 2015, v troch rôznych častiach svahu (dolnej, strednej a hornej) v siedmich opakovaniach na dvoch rôznych typologicko-produkčných kategóriách pôdneho fondu (orná pôda – OP, trvalý trávny porast – TTP) (Obr. 1, 2) kambizeme modálnej, hlinitej, zisťovali hodnoty penetrometrického odporu, hĺbku vpichu tohto merania, pôdnej teploty a objemovej vlhkosti pôdy. Penetrometrický odpor (v MPa) a hĺbku vpichu sme merali penetrologerom od spoločnosti Eijkelkamp, ktorého súčasťou je sonda Theta Probe na meranie objemovej pôdnej vlhkosti (v %) (EIJKELKAMP, 2014). Teplotu pôdy (v °C) sme merali digitálnym pôdnym teplomerom.

Merania prebiehali za rôznych vonkajších klimatických podmienok, 8. 4. 2015 bolo polooblačné počasie s teplotou vzduchu (13 °C), 5. 5. 2015 bolo oblačno s teplotou vzduchu (18 °C), 5.10.2015 bolo oblačno s teplotou vzduchu (14,5 °C).

Obrázok 1 Sledovaná lokalita v k.ú. Kečovo využívaná ako orná pôda (OP)



Obrázok 2 Sledovaná lokalita v k.ú. Kečovo využívaná ako trvalý trávny porast (TTP)



VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hĺbka pôdy je procesmi erózie výrazne ovplyvňovaná. Následkom procesov odnosu pôdnej hmoty z hornej časti erózných svahov a následnej akumulácie v jeho dolnej časti zmenou hĺbky pôdy sú výrazne ovplyvňované aj ďalšie pôdne vlastnosti, vrátane penetrometrického odporu, pôdnej teploty a vlhkosti. Hĺbka pôdy, do ktorej prenikla sonda pri meraní penetrometrického odporu bola v porovnaní medzi dolnou a hornou časťou svahu vo všetkých prípadoch vyššia v dolnej časti svahu, vo všetkých aspektoch v prípade oboch spôsoboch využívania pôdy ako v hornej časti odnosom postihnutej časti svahu (Tab. 1, 2). Jednou výnimkou bol tretí aspekt na OP, kedy rozdiel medzi dolnou a hornou časťou svahu predstavoval (0,01 m). Akumulácia materiálu v dolnej časti svahu prispela k vyšším hodnotám penetrometrického odporu v porovnaní s hornou časťou svahu vo všetkých aspektoch, v prípade oboch spôsoboch využívania

pôdy s jednou výnimkou. V druhom aspekte na TTP bola priemerná hodnota penetrometrického odporu v dolnej časti svahu nižšia (0,99 MPa) ako v hornej časti svahu (1,19 MPa) (Tab. 1, 2).

Tabuľka 1 Priemerné hodnoty hĺbky merania a penetrometrického odporu (PO) na OP v dolnej, strednej a hornej časti svahu v troch aspektoch (v m, MPa)

Aspekt	1.			2.			3.		
Časť svahu	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná
Hĺbka	0,35	0,37	0,22	0,09	0,07	0,05	0,06	0,08	0,07
PO	1,70	1,67	1,48	1,12	0,68	0,78	1,48	1,12	0,99

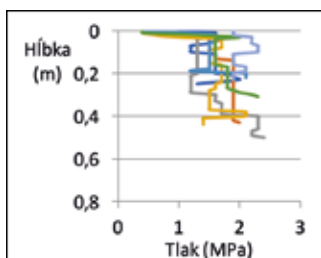
Tabuľka 2 Priemerné hodnoty hĺbky merania a penetrometrického odporu (PO) na TTP v dolnej, strednej a hornej časti svahu v troch aspektoch (v m, MPa)

Aspekt	1.			2.			3.		
Časť svahu	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná
Hĺbka	0,54	0,31	0,48	0,11	0,06	0,08	0,07	0,10	0,05
PO	1,92	1,72	1,76	0,99	1,05	1,19	1,06	1,38	0,78

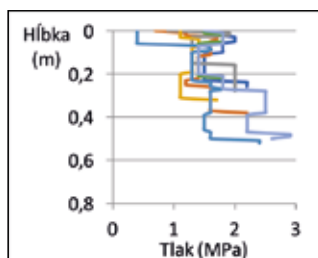
V prípade vykonania korektúry nameraných výsledkov podľa Závazných metód rozborov pôd (FIALA *et al.*, 1999), sme zistili zhutnenosť pôdy len v prvom aspekte, na TTP, vo všetkých častiach svahu, kedy došlo k prekročeniu hodnoty 4,2 MPa stanovenej ako limit pre hlinité pôdy.

Hĺbka vpichu penetrológerom ako aj penetrometrický odpor sa v priebehu roka, v rôznych častiach svahu ako aj na oboch spôsoboch využívania pôdy menili a to aj dôsledkom hydroklimatických charakteristík, pôdnej vlhkosti aj pôdnej teploty (Obr. 1a–6c).

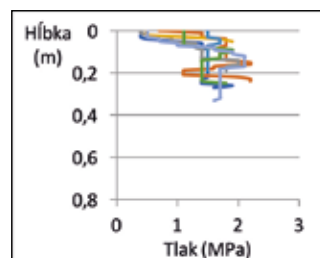
Obrázok 1a Penetrograf, 8. 4. 2015, OP, dolná časť svahu



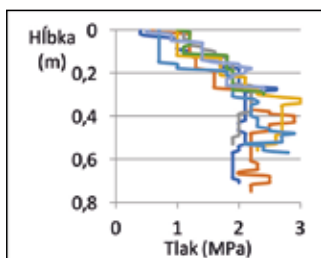
Obrázok 1b Penetrograf, 8. 4. 2015, OP, stredná časť svahu



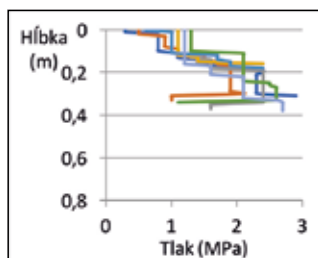
Obrázok 1c Penetrograf, 8. 4. 2015, OP, horná časť svahu



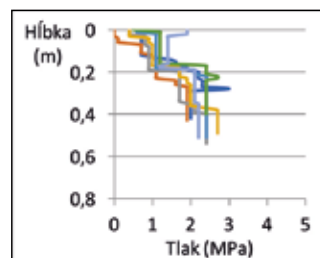
Obrázok 2a Penetrograf, 8. 4. 2015, TTP, dolná časť svahu



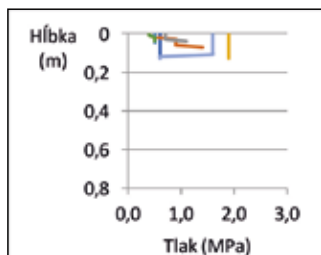
Obrázok 2b Penetrograf, 8. 4. 2015, TTP, stredná časť svahu



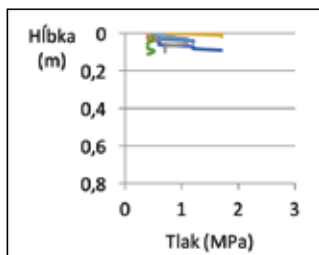
Obrázok 2c Penetrograf, 8. 4. 2015, TTP, horná časť svahu



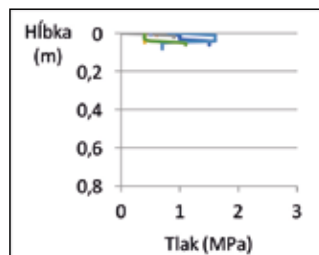
Obrázok 3a Penetrograf,
5. 5. 2015, OP, dolná časť svahu



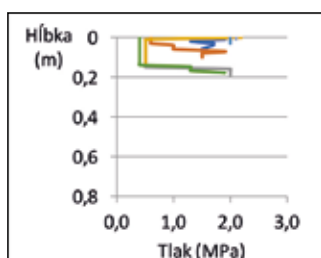
Obrázok 3b Penetrograf,
5. 5. 2015, OP, stredná časť svahu



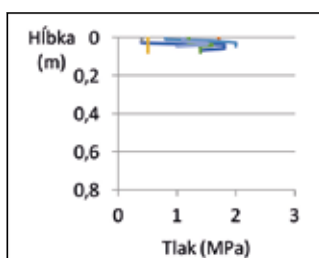
Obrázok 3c Penetrograf,
5. 5. 2015, OP, horná časť svahu



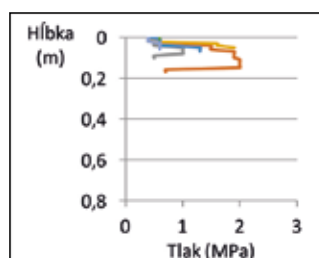
Obrázok 4a Penetrograf,
5. 5. 2015, TTP, dolná časť svahu



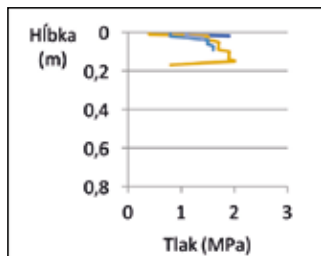
Obrázok 4b Penetrograf,
5. 5. 2015, TTP, stredná časť svahu



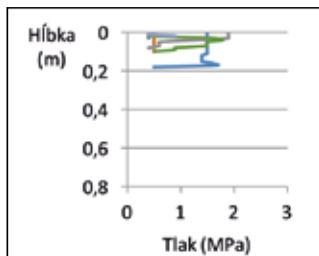
Obrázok 4c Penetrograf,
5. 5. 2015, TTP, horná časť svahu



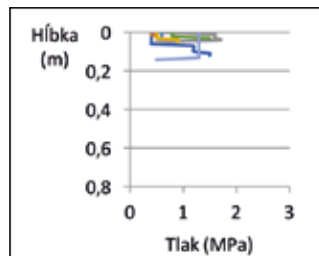
Obrázok 5a Penetrograf,
5. 10. 2015, OP, dolná časť svahu



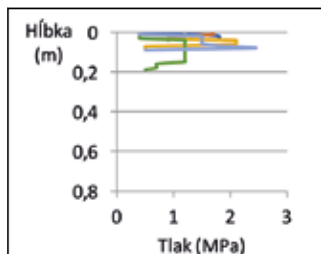
Obrázok 5b Penetrograf,
5. 10. 2015, OP, stredná časť svahu



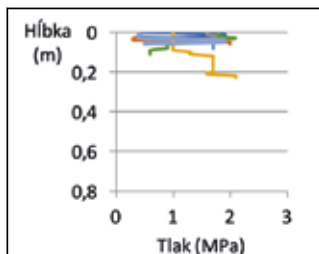
Obrázok 5c Penetrograf,
5. 10. 2015, OP, horná časť svahu



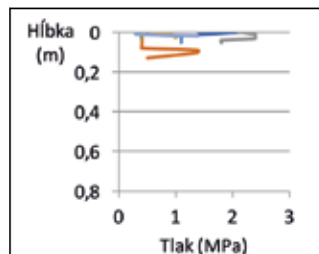
Obrázok 6a Penetrograf,
5. 10. 2015, TTP, dolná časť svahu



Obrázok 6b Penetrograf,
5. 10. 2015, TTP, stredná časť svahu



Obrázok 6c Penetrograf,
5. 10. 2015, TTP, horná časť svahu



Pôdna teplota a pôdna vlhkosť sú pôdne charakteristiky vyznačujúce sa vysokou mierou variability, o čom svedčia aj hodnoty vypočítaných štatistických ukazovateľov (minimálne, maximálne hodnoty a hodnoty smerodajnej odchýlky) nameraných údajov v rôznych častiach svahu, v rôznom období a pri oboch spôsoboch využívania pôdy (Tab. 3–6).

Tabuľka 3 Pôdna teplota na OP v dolnej, strednej a hornej časti svahu v troch aspektoch a jej štatistické charakteristiky (v °C)

Aspekt	1.			2.			3.		
Časť svahu	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná
Priemer	6,0	7,1	7,4	19,9	19,5	19,7	13,3	13,6	14,2
Min	5,0	6,3	6,7	17,8	18,5	18,7	13,1	13,5	13,9
Max	6,7	7,8	8,1	22,5	20,0	20,5	13,5	13,7	14,5
σ	0,6	0,7	0,5	1,6	0,5	0,5	0,1	0,1	0,2

Tabuľka 4 Pôdna teplota na TTP v dolnej, strednej a hornej časti svahu v troch aspektoch a jej štatistické charakteristiky (v °C)

Aspekt	1.			2.			3.		
Časť svahu	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná
Priemer	7,2	7,8	7,6	18,0	16,9	17,2	12,9	13,1	13,1
Min	6,2	6,5	6,5	16,9	15,9	16,6	12,7	12,9	13,0
Max	8,1	9,9	8,7	19,3	18,4	18,2	13,0	13,2	13,2
σ	0,8	1,2	0,7	0,8	0,8	0,5	0,1	0,1	0,1

Tabuľka 5 Pôdna vlhkosť na OP v dolnej, strednej a hornej časti svahu v troch aspektoch a jej štatistické charakteristiky (v °C)

Aspekt	1.			2.			3.		
Časť svahu	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná
Priemer	22,0	16,9	14,4	13,7	7,3	6,0	13,1	6,0	6,1
Min	18,0	11,0	10,0	11,0	5,0	3,0	10,0	2,0	1,0
Max	25,0	25,0	20,0	16,0	10,0	8,0	15,0	9,0	9,0
σ	2,8	4,6	4,1	2,1	1,6	2	1,8	2,8	2,5

Tabuľka 6 Pôdna vlhkosť na TTP v dolnej, strednej a hornej časti svahu v troch aspektoch a jej štatistické charakteristiky (v °C)

Aspekt	1.			2.			3.		
Časť svahu	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná	Dolná	Stredná	Horná
Priemer	35,3	33,1	35,4	22,0	17,4	19,3	15,0	14,1	15,7
Min	30,0	28,0	32,0	21,0	5,0	16,0	22,0	11,0	13,0
Max	42,0	36,0	42,0	23,0	23,0	24,0	22,0	18,0	18,0
σ	3,7	3	4,4	0,6	6	2,7	3,5	2,5	1,8

V prípade pôdnej teploty, v rámci celého súboru údajov (za všetky 3 časti svahu, oba spôsoby využívania a všetky tri sledované aspekty) bola najnižšia aj najvyššia nameraná teplota na ornej pôde v dolnej časti svahu. Najnižšia teplota (5 °C) bola nameraná v 1. aspekte, najvyššia teplota (22,5 °C) bola nameraná v 2. aspekte. Pri sledovaní zmien pôdnej teploty medzi jednotlivými časťami svahu sme na OP v prípade 1. a 3. aspektu zaznamenali postupné zvyšovanie teploty, s najnižšou teplotou v dolnej časti svahu, vyššou v strednej a najvyššou v hornej časti svahu s výrazným obsahom skeletu prítomného už na povrchu pôdy s výrazne erodovaným humusovým horizontom. Na trvalom trávnom poraste sa hodnoty pôdnej teploty v rôznych častiach svahu menili bez náznaku spoločných tendencií. Väčšie rozdiely v hodnotách pôdnej teploty medzi jednotlivými časťami svahu boli častejšie v prípade ornej pôdy ako v prípade trvalého trávneho porastu. Vo väčšine prípadov bola pritom pôdna teplota vyššia na OP ako na TTP.

V prípade pôdnej vlhkosti sa potvrdilo tvrdenie DAVIDSON *et al.* (2000) o úzkej spojitosti sledovaných fyzikálnych vlastností, kde v rámci celého súboru údajov (za všetky 3 časti svahu, oba spôsoby využívania a všetky tri sledované aspekty) bola najnižšia vlhkosť (1 %) nameraná na OP v hornej časti svahu v 3. aspekte. Najvyššia vlhkosť (42 %) bola nameraná na TTP v dvoch častiach svahu (dolnej aj hornej) v 1. aspekte. Pri sledovaní zmien pôdnej vlhkosti medzi jednotlivými časťami svahu sme na OP v prípade 1. a 2. aspektu zaznamenali postupné znižovanie vlhkosti (v opozícii k hodnotám pôdnej teploty), s najvyššou vlhkosťou v dolnej časti svahu, nižšou v strednej a najnižšou v hornej časti svahu s výrazným obsahom skeletu. Na trvalom trávnom poraste sa hodnoty pôdnej vlhkosti v rôznych častiach svahu menili bez náznaku spoločných tendencií. Vo všetkých prípadoch bola pritom pôdna vlhkosť vyššia na TTP ako na OP.

Výsledky takto potvrdzujú schopnosť trávneho porastu tlmiť výkyvy sledovaných pôdnych charakteristík a najmä schopnosť trávneho porastu udržiavať vlhkosť pôdy. VILČEK *et al.* (2005) uvádzajú, že vegetačný kryt pôsobí na vyrovnanie teplotných rozdielov. Na jednej strane je obmedzený dopad slnečného žiarenia priamo na pôdu, na druhej strane sú znížené tepelné straty pôdy vyžarovaním tepla. Prítom pôdna teplota a vlhkosť sú podľa FULAJTÁRA (2006) dôležité faktory, ktoré ovplyvňujú mnohé pôdne vlastnosti, ako sú najmä mikrobiálna aktivita, rozklad rastlinných zvyškov, prístupnosť rastlinných zvyškov. Tieto charakteristiky majú výrazný vplyv na celý pôdny edafon. KANIANSKA *et al.* (2016) zistili silnú koreláciu výskytu (aj biomasy) dážďoviek s pôdnou vlhkosťou a teplotou na siedmich transektoch lokalizovaných v rôznych prírodno-klimatických podmienkach.

ZÁVER

Výsledky výskumu potvrdili vplyv erózie na stav vybraných pôdnych charakteristík, penetrometrický odpor, hĺbku vpichu, pôdnu vlhkosť a teplotu. Prejavil sa pozitívny vplyv trávneho porastu na reguláciu erózie pôdy vrátane tlmenia nepriaznivých vplyvov odrážajúcich sa v hodnotách pôdnej teploty a vlhkosti čo je v zhode s tvrdením SONG *et al.* (2013). Tieto zistenia by mali byť zohľadňované pri systémoch obhospodarovania pôdy. Správne využívanie pôdy

v prípade eróziou ohrozených oblastí prispieva nielen k ochrane pôdy, ale aj prítomnej bioty prispievajúcej k plneniu mnohých ekosystémových služieb.

Podakovanie

Príspevok vznikol za podpory projektu APVV-0098-12 *Analýza, modelovanie a hodnotenie agroekosystémových služieb*. Výskum abiotických pôdnych vlastností bol realizovaný prístrojmi z OPVaV-ISTM-26210120024 *Obnova a budovanie infraštruktúry pre ekologický a environmentálny výskum na UMB v Banskej Bystrici*.

LITERATÚRA

- ANTAL, J. – IGAZ, D. 2012. *Aplikovaná agrohydrologia*. Nitra: SPU, 2012. 210 s. ISBN 978-80-552-0731-5.
- BIELEK, P. 1996. *Ochrana pôdy: Kódex správnej poľnohospodárskej praxe v SR*. Bratislava: Ministerstvo pôdohospodárstva SR a Výskumný ústav pôdnej úrodnosti, 1996. 54 s.
- DAVIDSON, M. W. J., LE TOAN, T., MATTIA, F., SATALINO, G., MANNINEN, T., BORGEAUD, M. 2000. On the characterization of agricultural soil roughness for radar remote sensing studies. In *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 38 (2), s. 630–640.
- EIJKELKAMP. 2014. *Penetrologger with GPS, standard set*. [online]. Eijkelkamp. [cit. 2017–10–28]. Dostupné na internete: <<https://en.eijkelkamp.com/products/field-measurement-equipment/penetrologger-set-a.html>>.
- FIALA, K. – KOBZA, J. – MATUŠKOVÁ, L. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – HOUŠKOVÁ, B. – PECHOVÁ, B. – BÚRIK, V. – BREČKOVÁ, V. – LITAVEC, T. – CHOMANIČOVÁ, A. – VÁRADIOVÁ, D. 1999. *Záväzné metódy rozborov pôd. Čiastkový monitorovací systém – Pôda*. Bratislava: Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany pôdy. 142 s. ISBN 80-85361-55-8.
- FULAJTÁR, E. 2006. *Fyzikálne vlastnosti pôdy*. Bratislava: VÚPOP, 2006. 142 s. ISBN 80-89128-20-3.
- JOINT RESEARCH CENTRE OF EC. 2012. *The State of Soil in Europe*. JRC Reference report. Luxembourg: Publication Office of the EU, 2012. 80 s. ISBN 978-92-79-22806-3.
- KANIANSKA, R. – JAĎUĎOVÁ, J. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – KIZEKOVÁ, M. 2016. Assessment of relationships between earthworms and soil abiotic and biotic factors as a toll in sustainable agricultural. In *Sustainability*, 8 (906), s. 1-14.
- MAREK, D. 2008. *Správa o hodnotení územnoplánovacej dokumentácie: výskumná správa*. Košice: ADM, 2008. 44 s.
- MCCAULEY, A. – JONES, C. – JACOBSEN, J. 2005. *Basic soil properties*. [online]. Montana: Montana state university. 2005. [cit.2017-10-30]. Dostupné na internete: <http://landresources.montana.edu/swm/documents/Final_proof_SW1.pdf>.
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA. 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie. Bratislava: NPPC – VÚPOP, 2014. 96 s. ISBN 978-80-8163-005-7.
- SONG, Y.T. *et al.*, 2013. Effects of vegetation height and density on soil temperature variations. In *Chinese Sci. Bull.*, 58 (2013), s. 907-912.
- STYK, J. – PÁLKA, B. 2015. *Vodná erózia v poľnohospodárskej krajine a jej vplyv na znášanie vodných diel Hričov a Žilina*. Bratislava: VÚPOP, 2015. 123 s. ISBN 978-80-8163-011-8.
- VILČEK, J. – HRONEC, O. – BEDRNA, Z. 2005. *Environmentálna pedológia*. Bratislava-Nitra: Výskumný ústav pôdoznavectva a ochrany prírody Bratislava: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 2005. 298s. ISBN 80-8069-501-6.
- VÝSKUMNÝ ÚSTAV PODOZNELECTVA A OCHRANY PODY. 2013 *Hodnotenie leteckých a družicových snímok z hľadiska využiteľnosti pre mapovanie erózie pôdy na príklade skúšobného územia v Rišňovciach*. [online]. VÚPOP. [cit. 2017 – 10 – 20]. Dostupné na internete: <http://www.vupop.sk/dokumenty/vedecke_prace_2013.pdf>.
- ZACHAR, D. 1970. *Erózia pôdy*. Bratislava: SAV, 1970. 527 s.

Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy č. 39

© Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava

Zodpovedný redaktor: doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc

Recenzenti: prof. Ing. Bohdan Juráni, CSc.

RNDr. Martin Saksa, PhD.

doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.

Grafická úprava: Ing. Karol Végh

Vydal: NPPC – VÚPOP

Tlač: Edičné stredisko NPPC – VÚPOP

Gagarinova 10, Bratislava

Počet strán:

Náklad: 100 ks

ISBN 978-80-8163-022-4 (tlačená verzia)

ISBN 978-80-8163-023-1 (online verzia vo formáte PDF)

Texty neprešli jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-8163-022-4

(tlačená verzia)



9 788081 630224 >

ISBN 978-80-8163-023-1

(online verzia PDF)



9 788081 630231 >