

# Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy

2018

40

# Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

# Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy

2018

**40**

# Proceedings

of Soil Science and Conservation Research Institute

# Vedecké práce

Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy č. 40

Editor: doc. RNDr. Jaroslava Sobočká, CSc.

Recenzenti: prof. Ing. Jozef Vilček, PhD.  
RNDr. Beata Houšková, CSc.

© Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum –  
Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava, 2019

**ISBN 978-80-8163-030-9 (tlačaná verzia)**

**ISBN 978-80-8163-031-6 (online verzia vo formáte PDF)**

# Obsah

	PREDSLOV .....	5
Pavol Bezák, Blanka Ilavská	PRÍKLAD PLOŠNÉHO VYMEDZENIA AKUMULOVANÝCH PÔD PRE ÚČELY INOVÁCIE INFORMAČNÉHO SYSTÉMU BPEJ .....	7
Jozef Kobza	AKTUÁLNY OBSAH A VÝVOJ ORTUTI V POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔDACH SLOVENSKA .....	16
Jarmila Makovníková, Miloš Širáň	ZMENY REGULAČNEJ EKOSYSTÉMOVEJ SLUŽBY NA KONTAMINOVANEJ LOKALITE VYUŽÍVANEJ NA PESTOVANIE ENERGETICKÝCH PLODÍN .....	24
Boris Pálka, Jarmila Makovníková, Miloš Širáň	POTENCIÁL AGROEKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽIEB V OKRESE BANSKÁ BYSTRICA .....	33
Eva Pekárová, Michal Sviček	SÚČASNÝ STAV OCHRANY BORIEVKY OBYČAJNEJ V CHRÁNENOM ÚZEMÍ DEVÍNSKEJ KOBYLY A POTREBA JEJ PREHODNOTENIA .....	43
Vladimír Piš, Jozef Takáč, Zuzana Bezáková, Igor Sobocký	EFEKTÍVNE VYUŽÍVANIE DUSÍKA SO ZAMEDZENÍM NEGATÍVNEHO VPLYVU NA ZDROJE VÔD V ZÁVISLOSTI OD VYBRATÝCH PÔDNYCH VLASTNOSTÍ V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY .....	54
Jaroslava Sobocká, Jozef Takáč, Pavol Bezák, Gabriela Barančíková	VÝZNAM DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA PÔDU VO SVETLE NOVÝCH GLOBÁLNYCH VÝZIEV.....	79
Jozef Takáč, Dana Kotorová, Jarmila Makovníková, Ladislav Kováč	VALIDÁCIA MODELU DAISY V PODMIENKACH VÝCHODOSLOVENSKEJ NÍŽINY.....	100



---

## PREDSLOV

40. vydanie Vedeckých prác NPPC – VÚPOP sa rodilo pomerne ťažko. Prispievatelia VP 40, ktorí sa zoskupujú z pracovníkov VÚPOP Bratislava a jej regionálnych pracovísk, sa v roku 2018 stretli s viacerými prekážkami, ktoré im priamo, či nepriamo bránili v ich publikačnej činnosti a celkovo vo vedeckej práci. Boli to hlavne reorganizačné aktivity, ktoré sa týkali zmeny miesta výkonu pracovnej činnosti, náročné sťahovanie do nových priestorov z Gagarinovej ulice na Trenčiansku ulicu, formovanie novej štruktúry ústavu po odchode LPIS pracovníkov na MPRV SR. V súčasnosti však možno konštatovať, že situácia sa postupne stabilizuje a Výskumný ústav pôdoznalectva s ochrany pôdy, oklieštený o pracovníkov technického zamerania, sa začína transformovať na vedecký ústav so všetkými jeho atribútmi.

V tomto zmysle treba posudzovať príspevky, ktoré prezentujú najnovšie výsledky vedeckého bádania v oblasti pedológie a jej príbuzných disciplín. Možno konštatovať, že tematika a zvolený výber prác dostatočne odráža súčasnú úroveň vied o pôde na Slovensku. Tematické okruhy sa viažu na najnovšie tendencie výskumu vo väzbe na udržateľnosť pôdných zdrojov v podmienkach klimatickej zmeny, intenzívneho hospodárenia na pôde, alternatívnych spôsobov hospodárenia. Sleduje sa trend výskumu agroekostémových služieb pôd, negatívnych vplyvov hospodárenia na pôde (napr. dusičnany, rizikové látky). Pre riešenie problémov sa využívajú moderné nástroje modelovania, GIS a geoštatistiky, čo úroveň príspevkov zvyšuje. Predpokladá sa, že v budúcnosti by sa obsah čísla mohol rozšíriť a obohatiť o ďalšie zaujímavé témy výskumu. Bude záležať na stave vytvorených pracovných podmienok a možnostiach publikovania.

Na druhej strane je žiadúce poznamenať, že ak sa má VÚPOP stať špičkovým vedeckým pracoviskom, akékoľvek vedecké aktivity v oblasti tvorby nových pedologických poznatkov treba publikovať na vyššej, vedeckej úrovni. Vedecké práce NPPC – VÚPOP 40 sú prakticky necertifikovaným zborníkom recenzovaných vedeckých prác. To znamená že v niektorých prípadoch existuje tenká hranica aj medzi charakterom vedeckej, či odbornej práce. Možno by sa mohlo začať hovoriť o procese akreditácie na vedecký časopis – periodikum, ktoré by na vyššej úrovni poskytovalo poznatky, zámerne cielené na aplikačný výskum. V tomto smere má ústav ambície, avšak v dobe redukcie pracovníkov a finančných možností je tento prístup zatiaľ ne-reálny.

Všetky príspevky prešli recenzným oponovaním, za čo sa patrí poďakovať prof. Ing. Jozefovi Vilčekovi, PhD. a RNDr. Beate Houškovéj, CSc. Do budúcnosti prajem všetkým reálnym i potenciálnym prispievateľom veľa invencie pri tvorbe nových informácií tak potrebných pre uvedomelé a dômyselné riadenie poľnohospodárskeho sektora.

Prijemné poznatkové čítanie!

**Doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.**

editor Vedeckých prác 40

---



# PRÍKLAD PLOŠNÉHO VYMEDZENIA AKUMULOVANÝCH PÔD PRE ÚČELY INOVÁCIE INFORMAČNÉHO SYSTÉMU BPEJ

## EXAMPLE OF ACCUMULATION SOILS ALLOCATION FOR PURPOSES OF THE PEU INFORMATION SYSTEM INOVATION

**Pavol Bezák, Blanka Ilavská**

*NPPC – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava  
e-mail: p.bezak@vupop.sk*

### **Abstrakt**

V rámci inovácie pedologickej časti bonitácie poľnohospodárskych pôd sme sa rozhodli zaradiť do klasifikačného systému pôdných jednotiek akumulované pôdy (koluvizeme). Plošné vymedzenie takýchto pôd je prvým krokom k ich postupnému zaradeniu do systému. Výhodou pri vyčleňovaní akumulovaných pôd je ich možná predbežná identifikácia na základe údajov z digitálneho modelu terénu (DMT). Takto predbežne vybrané plochy je potom možné plánovane podrobiť terénemu prieskumu.

**Kľúčové slová:** akumulované pôdy, vodná erózia, modelovanie procesov erózie, USLE, USPED

### **Abstract**

Within the scope of the update and innovation of pedological part of the soil evaluation unit, we have decided to include accumulated soils (Colluvisols) in the soil unit's classification system. Their area delineation is the first step in their successive integration into the system. The advantage of delimitation of the accumulated areas is their possible pre-identification based on data from the digital terrain model (DMT). Such pre-selected areas can then be submitted to the targeted field survey.

**Keywords:** accumulated soils, water soil erosion, modelling of erosion processes, USLE, USPED

### **ÚVOD**

Negatívne vplyvy vodnej erózie na pôdu, krajinu, životné prostredie a ekonomiku sú známe. V Slovenskej republike je eróziou postihnutých viac ako 40% poľnohospodárskych pôd.

---



Záznamy o degradácii pôdy eróziou sú staré viac ako 7 000 rokov. Proces zrýchlenej erózie pôdy sa začína objavovať od doby, kedy človek začal porušovať prirodzený kryt pôdy, ktorý bol na väčšine územia tvorený lesnými spoločenstvami. Všeobecne je degradácia pôdy závislá od charakteru klímy, územia, spôsobu jeho využitia a sociálno-ekonomických faktorov vrátane úrovne hospodárstva. Z celkovej plochy kontinentov je 15 %, t.j. približne 20 mil. km<sup>2</sup> degradovaných, z toho viac ako 50 % – 11 mil. km<sup>2</sup> vodnou eróziou a 5,5 mil. km<sup>2</sup> veternou eróziou, ostatné plochy pripadajú na chemickú a fyzikálnu degradáciu. Za hlavné príčiny degradácie vo svetovom meradle sa považuje odlesňovanie, devastácia pastvín, nesprávne alebo príliš intenzívne využívanie pôdy a jej znečistenie. Erózia nespôsobuje len celkové zníženie úrodnosti, okrem ekonomickej straty spôsobuje aj vodohospodársku, energetickú a ekologickú ujmu. V minulosti, ale aj v súčasnej dobe pretrváva problém nedostatočnej evidencie dôsledkov erózie, čo naráža hlavne na otázku značnej premenlivosti tohto javu.

Poznanie plošného rozsahu erózie môže poskytnúť dôležité informácie pri uplatnení protieróznych opatrení a optimalizácii hospodárenia na pôde a tým ak nie zastaviť, tak aspoň spomaliť procesy fyzikálnej degradácie pôdy. Aby aj ďalej nedochádzalo k degradácii poľnohospodárskej pôdy, je nutné využívať všetky dostupné prostriedky k jej zachovaniu v čo najlepšej kvalite a výmere. Jedným z najdôležitejších nástrojov hodnotenia a ochrany pôdy je bonitačný informačný systém (JAMBOR, 1999).

Údaje z informačného systému o pôde tvoria základ pre systém ochrany poľnohospodárskej pôdy pred zábermi a degradáciou, ktorý je integrovaný do legislatívy prostredníctvom zákona č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov. V súčasnej dobe v rámci inovácie a aktualizácie pedologickej časti bonitačného informačného systému o pôde je snaha zaradiť do sústavy pôdno-ekologických jednotiek okrem iného aj pôdne jednotky, ktoré sa formujú v procese erózie. V súčasnej sústave pôdnoekologických jednotiek sa nachádzajú pôdy s charakteristikou erodované pôdne typy a extrémne erodované pôdne typy, u ktorých v pôdnom profile na povrch vystupuje substrát. Nenachádzajú sa tam pôdne jednotky, ktoré vznikajú akumuláciou erózných sedimentov v podsvahových a terénnych depresiách – akumulované pôdy (MKSP 2014). Takéto pôdy vznikajú aj na dlhších erózných svahoch v svahových mikrodepresiách.

Akumulované pôdy vznikajú sedimentáciou a akumuláciou erodovaných materiálov v dolných častiach svahov prechádzajúcich do depresných polôh. Obsahujú materiál z orníc a podpovrchových horizontov pôd ležiacich nad nimi a pri intenzívnejších prejavoch erózie môžu obsahovať i erodovaný materiál pôdotvorných substrátov. Pod týmto materiálom sa nachádza pochovaný pôvodný pôdny profil. Koluvizeme nie sú súčasťou platného Morfogenetického klasifikačného systému (2014), avšak sú súčasťou viacerých zahraničných klasifikačných systémov pôd (napr. českého). Majú presne stanovené klasifikačné kritériá (napr. hrúbku akumulovaného materiálu), preto používame všeobecnejší názov akumulované pôdy. Koluvizeme uviedli do literatúry v SR Sobocká, Skalský (2002).

Výhodou pri vyčleňovaní akumulovaných pôd je ich možná predbežná identifikácia na základe údajov z DMT. Takéto plochy je potom možné plánovane podrobiť terénnemu priesku-

mu. K hodnoteniu rozšírenia a intenzity erózne-akumulačných procesov sa využíva mnoho metód. Presné meranie predstavuje priame terénne pozorovanie doplnené o laboratórne analýzy, ktoré možno spoľahlivo vykonávať len na malých územiach. Popri tom boli vyvinuté metódy matematického modelovania, ktoré sa zameriavajú na odhad erózneho ohrozenia na základe syntézy parametrov zásadne ovplyvňujúcich erózne-akumulačné procesy. Modely sú tak schopné nahradiť nedostatok dát na väčších územných celkoch. Modelovanie erózných resp. erózne-akumulačných procesov umožňuje identifikovať miesta náchylné k vzniku erózne-akumulačných foriem a odhadnúť intenzitu procesov v rôznom meradle. Erózne modely sa dajú podľa koncepcie rozdeliť na tri skupiny: 1) empirické, ktoré sú založené na štatistickej analýze jednotlivých faktorov pôsobiacich na eróziu, 2) simulačné, ktoré vychádzajú z fyzikálneho popisu erózneho procesu a 3) semi-empirické kombinujúce oba prístupy (DE VENTE, POESEN 2005; KLIMENT, LANGHAMMER 2005; KLIMENT, KADLEC, LANGHAMMER 2008).

Cieľom tohto príspevku je overiť využiteľnosť erózne-akumulačného modelu USPED a výsledky porovnať s bežne využívaným modelovým prístupom – rovnicou USLE a s terénnym prieskumom slúžiacim pre prípravu terénneho mapovania akumulovaných pôd na území Slovenska.

## MATERIÁL A METÓDY

Priestorové vymedzovanie akumulovaných pôd na základe terénnych prieskumov a laboratórnych analýz je časovo náročné a vhodné skôr pre malé územia. Z hľadiska efektívnosti je vhodné smerovať terénny prieskum na lokality s predispozíciou akumulácie materiálu transportovaného v dôsledku erózie z vyšších častí svahu. Lokalizácia takýchto pôd je teda determinovaná parametrami, ktoré sú taktiež súčasťou vstupov pre predikčný erózný model Univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE) a to najmä svahovitosťou. Vysoký predpoklad výskytu akumulovaných pôd bude najmä na úpätiach svahov, kde už v súčasnom systéme máme mapované pôdne jednotky ohrozené degradáciou vo forme vodnej erózie. Tieto údaje teda môžu slúžiť ako pomocné priestorové vrstvy pre prípravu pôdoznaleckého prieskumu s cieľom mapovať akumulované pôdy. V prípade vzniku koluvizemí (navrhovaný pôdny typ) je dôležitý proces akumulácie materiálu z erózne ohrozených pôd. Okrem priamych terénnych pozorovaní týchto procesov boli vyvinuté modely, ktoré sú schopné nahradiť nedostatok údajov na väčších územiach. Erózne-akumulačné modely sú schopné okrem identifikácie miest náchylných k vzniku erózne-akumulačných foriem, odhadnúť aj intenzitu týchto procesov v rôznej mierke.

Ako modelové územie bolo zvolené katastrálne územie Rišňovce. Pre Rišňovce je typický pahorkatinový reliéf v teplej až veľmi teplej a veľmi suchej nížinnej klimatickej oblasti (Nitrianska sprašová pahorkatina). Pôdny pokryv je tvorený najmä pôdnymi typmi hnedozem a černozem, na exponovaných častiach reliéfu sa vplyvom erózie vytvorili regozeme. Vplyvom substrátových pomerov sa v území nachádzajú ľahké (neogénne sedimenty, piesčité spraše), stredne ťažké (spraše, nívne sedimenty) a ťažké (neogénne sedimenty) pôdy. Charakter georeliéfu (pahorkatina) vplyva na distribúciu vody v území. Územie je náchylné na eróziu pôdy a ná-

hľe povodňové udalosti spôsobujú povrchový odtok a transport akumulovaného materiálu. V území je realizovaná intenzívna rastlinná výroba s výraznou prevahou ornej pôdy (pestovanie obilnín, technických plodín a krmovín).

Pre zhodnotenie erózne-akumulačných procesov bol využitý model USPED. Ide o model založený na rovnici USLE, ktorý je zameraný na vyčlenenie oblastí s topografickým potenciálom pre vznik erózie a sedimentácie. Model bol vyvinutý v USA v spolupráci odborníkov z U. S. Army Construction Engineering Laboratories, Illinois Natural History Survey a Prírodovedeckej fakulty Komenského Univerzity v Bratislave. Prvé výsledky boli získané aplikáciou modelu v strednej časti Illinois a Yakima Ridge, Washington v USA (MITÁŠOVÁ a kol. 1996; MITÁŠ, MITÁŠOVÁ 1998), na Slovensku ho použil STANKOVIANSKY a kol. (2008).

Model USPED vyjadruje hodnotu erózie, resp. akumulácie podľa nasledovného vzťahu;

$$ED=K_t[(grad\ h) \cdot s \cdot \sin\beta - h \cdot (k_p+k_t)],$$

kde  $K_t$  je koeficient transportu pôdy,

$h$  hĺbka vody odvodená od zberných plôch (m),

$s$  je jednotkový vektor v smere najstrmšieho svahu,

$\beta$  je uhol sklonu svahu ( $^{\circ}$ ),

$k_p$  je normálová krivosť v smere spádovej krivky,

$k_t$  je normálová krivosť v smere dotyčnice k vrstevnici.

Faktory erózneho účinku dažďa, ochranného vplyvu vegetácie a erodovateľnosť pôdy model preberá z rovnice USLE. Kapacita transportu sedimentov je vyjadrená vzťahom:

$$T=R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot A^m \cdot (\sin\beta)^n,$$

kde  $R, K, C, P$  sú parametre rovnice USLE ( $LS = A m (\sin \beta) n$ ),

$m, n$  sú konštanty pre povrchový odtok vody spôsobujúci eróziu určené ako  $m = 1,6$ ,

$n = 1,3$  pre prevládajúcu ryhovú eróziu a  $m = n = 1$  pre prevládajúcu plošnú eróziu.

Na základe tohto vzťahu je možné eróziu/akumuláciu vyjadriť nasledujúcim vzťahom:

$$ED=div(T \cdot s)=d[T \cdot (\cos\alpha)/dx] + d[T \cdot (\sin\alpha)/dy],$$

kde  $\alpha$  je orientácia svahu voči svetovým stranám.

V prípade kladných hodnôt ED ide o miesta s potenciálom pre akumuláciu a záporné hodnoty ED určujú miesta s potenciálom pre erózný odnos pôdy (MITÁŠOVÁ a kol. 1996; MITÁŠ, MITÁŠOVÁ 1998).

Výsledok priestorovej vrstvy erózne-akumulačných procesov podľa modelu USPED bol dosiahnutý krokovým postupom v prostredí programu ArcMAP 10.4. Do modelu vstupujú údaje v rastrovej podobe, ktoré musia byť v rovnakom rozlíšení: digitálny model terénu (dem), sklon svahov v stupňoch (slope), orientácia voči svetovým stranám (aspect), R faktor (rfac), K faktor (kfac) a C faktor (cfac).

1. Najprv pomocou funkcie Flowaccumulation boli vypočítane zberné plochy sústreďného odtoku (flowacc). Hodnota pixelu výslednej vrstvy zodpovedá počtu pixelov, z ktorých sa do daného pixelu sústreďuje odtok.

2. V druhom kroku bol vypočítaný LS faktor (sflowtopo) v nástroji Map Algebra, podľa vzorca:  $[Pow([flowacc] * resolution, 1.6)] * [Pow(Sin([slope] * 0.01745), 1.3)]$

3. Pre výpočet transportnej kapacity v povodí bol použitý opäť nástroj Map Algebra. Najprv qsx:

$$[sflowtopo] * [kfac] * [cfac] * 56 * cos((([aspect] * (-1)) + 450) * 0.01745)$$

potom qsy:

$$[sflowtopo] * [kfac] * [cfac] * 56 * sin((([aspect] * (-1)) + 450) * 0.01745).$$

4. Boli vypočítané sklony svahov a orientáciu voči svetovým stranám z vrstiev qsx a qsy (pomenujeme ich analogicky qsx\_slope, qsy\_slope, qsx\_aspect a qsy\_aspect).

5. Bola vypočítaná deriváciu vrstiev qsx (qsx\_dx) a qsy (dsy\_dy):

$$cos((([qsx\_aspect] * (-1)) + 450) * 0.01745) * tan([qsx\_slope] * 0.01745)$$

$$sin((([qsy\_aspect] * (-1)) + 450) * 0.01745) * tan([qsy\_slope] * 0.01745)$$

6. Pomocou nástroja Map Algebra bol uskutočnený výsledný výpočet. Pre prevládajúcu ryhovú eróziu vložíme do dialógového okna vzorec:  $[qsx\_dx] + [qsy\_dy]$ . K

Výstup modelu tvorí rastrová vrstva, kde kladné hodnoty ukazujú lokality, kde dochádza k akumulácii erodovaného materiálu, záporné hodnoty označujú lokality s eróziou pôdy. Pre ľahšiu identifikáciu plôch s akumuláciou erodovaného materiálu boli hodnoty výslednej rastrovej vrstvy klasifikované do štyroch kategórií: plochy erózneho odnosu (kategória  $<0 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ ), ktorá bola nastavená ako priehľadná a tri kategórie plôch s eróznou akumuláciou  $0 - 100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ ,  $100 - 1000 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ ,  $>1000 \text{ t.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$ .

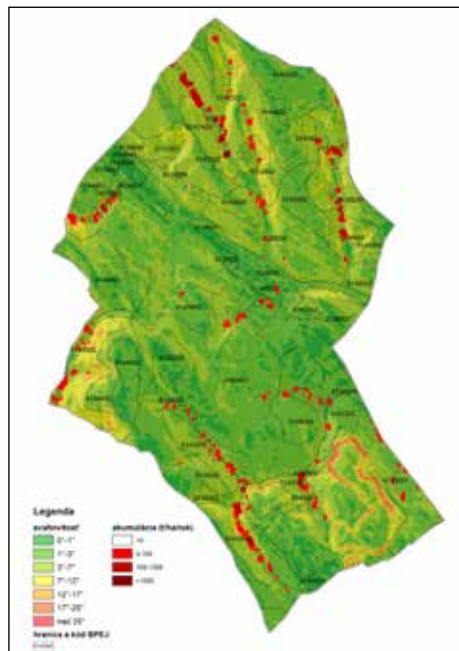
Toto zobrazenie následne umožňuje porovnať výskyt erózne akumulovaných plôch s ďalšími priestorovými vrstvami, ktoré majú súvis s procesmi erózie a akumulácie. Prekrýv erózne akumulovaných plôch údajmi o svahovitosti (Obr. 1) dáva možnosť korelovať výskyt erózne akumulovaných pôd s podsvahovými depresiami. Potenciálna erózna ohrozenosť vodnou eróziou poskytuje obraz o intenzite eróznych procesov v danom území, pričom prekryv výskytu erózne akumulovaných plôch s touto vrstvou (Obr. 2) poskytuje predstavu o spojitosti výskytu erózne akumulovaných plôch s plochami najintenzívnejšej erózne ohrozenosti vodnou eróziou, podobne ako aj s líniami sústredeného odtoku.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výstup modelu USPED v podobe mapy erózne akumulovaných plôch v k.ú. Rišňovce sa nachádza na obrázku 1. Pre lepšie zobrazenie plôch s intenzívnou eróznou akumuláciou boli odfiltrované iba kladné hodnoty, ktoré reprezentujú práve takéto oblasti.

Z obrázku je zrejmé, že najintenzívnejšie prebieha erózna akumulácia na plochách podsvahových depresíí. Rovnako obrázok 2 ukazuje, že najintenzívnejšia akumulácia erodovaného materiálu sa nachádza v najnižších častiach plôch, ktoré sú najintenzívnejšie ohrozené potenciálnou vodnou eróziou. Taktiež prekryv vrstiev intenzity erózne akumulácie súvisí s vrstvou sústredeného odtoku, ktorá taktiež potvrdzuje prienik plôch najintenzívnejšej erózne akumulácie s plochami s najvyššími hodnotami sústredeného odtoku.

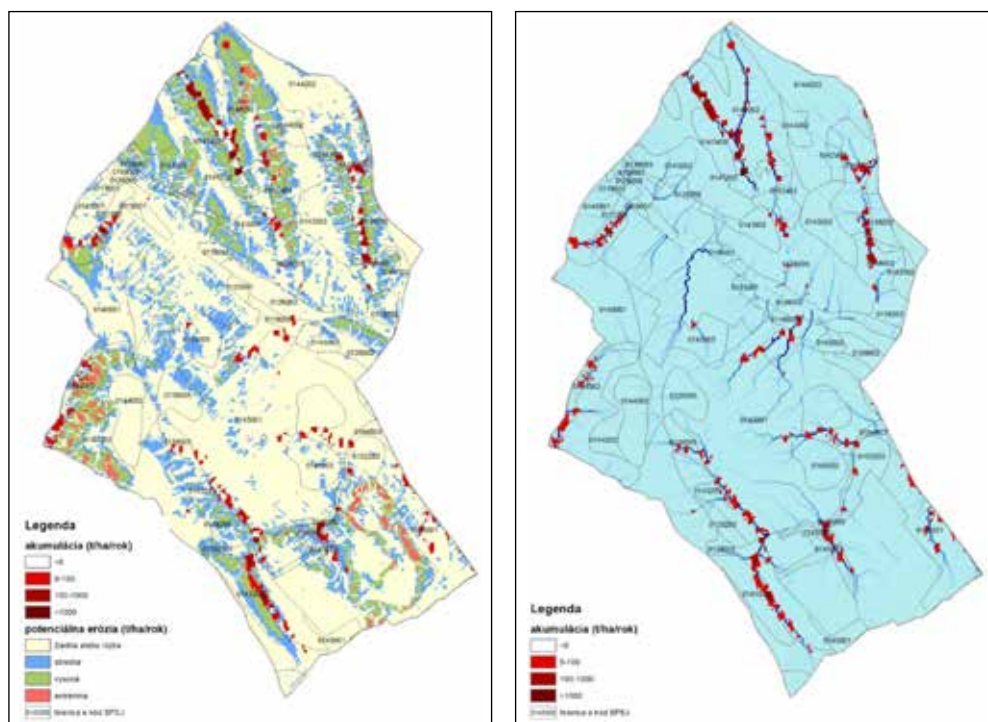
**Obr. 1** Zobrazenie erózne akumulovaných plôch podľa modelu USPED

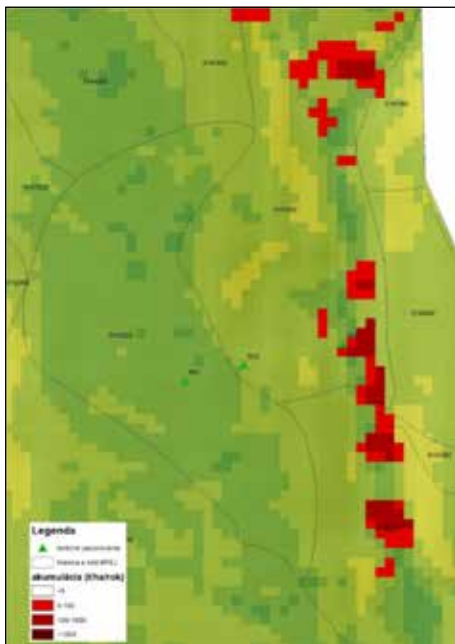


Z pohľadu vyčlenenia hraníc pôdnych jednotiek sú tieto plochy v sledovanom území častokrát zahrnuté k väčším celkom erózne degradovaných plôch s kódom BPEJ 0147202, 0143302, 0138402, teda regozeme, černozeme erodované a hnedozeme erodované na sprašiach. V týchto prípadoch ide o značne kvalitatívne rozdielne pôdne jednotky. V prípade erózne akumulovaných plôch ide o pôdy s výrazne iným produkčným potenciálom a vyššou hodnotou ako pôdy erózne ohrozené, do ktorých sú tieto jednotky priradené.

Využitelnosť údajov modelu USPED pre vymedzenie plôch s eróznou akumuláciou a následné mapovanie akumulovaných pôd bolo overené terénnym prieskumom. Terénne pozorovanie bolo realizované na eróznom transekte (katéne) na troch monitorovacích stanovištiach. Monitorovacie stanovištia R31, R32 a R33 sa na-

**Obr. 2** Prekryv erózne akumulovaných plôch s údajmi o potenciálnej erózne ohrozenosti a sústreďeného odtoku



**Obr. 3** Monitorovacie stanovišťa na eróznom transekte

chádzajú na spráši, pričom stanovište R31 sa nachádza na vrchole pahorku, stanovište R32 na jeho miernom konvexnom svahu (5°) a stanovište R33 v úvaline medzi dvomi pahorkami. Vzdialenosť R31-R32 je 127 m a vzdialenosť R32-R33 je 212 m.

Na stanovišti R33 sa nachádza černoziem kultizemná karbonátová akumulovaná (podľa MKSP 2000). Na obrázku 3 sú zobrazené monitorovacie stanovišťa na podklade vrstvy eróznej akumulácie, kde je zjavný prekryv monitorovacieho stanovišťa R33, ktoré predstavuje erózne akumulovanú pôdu s vrstvou eróznej akumulácie vypočítanej podľa USPED. Monitorovacie stanovište R33 predstavuje pôdny typ černoziem kultizemnú karbonátovú s výraznou akumuláciou materiálu z vyšších častí svahu, kde sa nachádzajú monitorovacie stanovišťa R31 a R32 s mapovanou pôdnou jednotkou podľa údajov BPEJ regozem a hnedozem erodovaná na sprášiach, stredne ťažká. Údaje o hĺbke akumulovaného profilu spolu s vybranými agrochemickými parametrami sa nachádzajú v tabuľke 2.

**Tab. 1** Popis profilu na monitorovacom stanovišti R33

Označenie	Hĺbka horizontu	Popis horizontu
Akpc	0-0,25 m	10YR 3/3,5, vlhký, slabo plastický, drobnopolyedrická štruktúra, hlinité, slabo prekorený kultizemný ornícový horizont, karbonátový, prechod postupný
Amc	od 0,25 m	10YR 3/3,5, vlhký, slabo plastický, drobnopolyedrická štruktúra, hlinité, karbonátový, pseudomycéliá, slabo prekorený akumulovaný horizont



**Tab. 2** Vybrané agrochemické parametre sondy na monitorovacom stanovišti R33

Horizont	Hĺbka vzorky (cm)	pH/H <sub>2</sub> O	pH/KCl	Cox	N tot	CaCO <sub>3</sub>	CEC
		–	–	%	%	%	cmol/kg
Akpc	10–20	7,88	7,50	1,40	0,154	5,50	10,5
Amc	30–35	8,01	7,53	0,75	0,096	1,80	14,9
Amc	50–60	8,06	7,54	0,57	0,071	1,50	11,1
Amc	90–100	8,06	7,46	0,74	0,096	0,50	17,3

Výhodou využitia modelu USPED pre výpočet plôch s eróziou a akumuláciou je v tom, že vychádza z modelu USLE a teda v prípade, že disponujeme údajmi pre výpočet potenciálnej vodnej erózie podľa USLE zároveň vieme vypočítať aj plochy a intenzitu erózie a akumulácie podľa modelu USPED. Pre výpočet postačuje využiť prostriedky, ktoré poskytuje niektorý z programov zameraných na GIS. V našom prípade išlo o softvér firmy ESRI a to konkrétne ArcMap 10.4. Veľkou prednosťou využitia modelu USPED je aj v tom, že pri tomto modeli ako aj pri modeli USLE nie je potrebná kalibrácia na rozdiel napríklad od modelu WaTEM/SEDEM.

Z prekryvu vrstiev digitálneho modelu terénu, svahovitosti a taktiež na základe terénnych pozorovaní je zjavné, že miesta, v ktorých najčastejšie dochádza k rozvoju erózných foriem, sa nachádzajú na dráhach sústredeného odtoku. K akumulácii dochádza na dolných častiach pôdnych celkov. Tieto procesy boli potvrdené aj pozorovaním v teréne a to na monitorovacích stanovištiach R31, R32 a R33. Monitorovacie stanovište R33 predstavuje černoze kultizemnú karbonátovú akumulovanú, kde bol proces akumulácie potvrdený kopanou sondou a popisom pôdneho profilu s identifikovaným erózne akumulovaným horizontom s hĺbkou nad 1 m. Toto stanovište sa nachádza v oblasti, kde dochádza k intenzívnej eróznej akumulácii aj podľa výsledkov modelu USPED na modelovom území. Tento výsledok teda potvrdzuje, že výsledky modelu USPED je možné využiť aj ako výstup slúžiaci pre prípravu terénneho mapovania cieľeného na vymedzenie plôch akumulovaných pôd.

## ZÁVER

Prvoradým zámerom príspevku bolo overiť využiteľnosť eróžno-akumulačného modelu USPED a porovnať jeho výsledok s bežne využívaným modelom – rovnicou USLE a následným terénnym prieskumom vo vybranom modelovom území v k.ú. Rišňovce. V modelovom území sú pôvodne evidované BPEJ 0147202, 0143302, 0138402 čiže regozeme, černoze erodované a hnedozeme erodované na sprašiach. Plochy akumulácie erózných sedimentov neboli doposiaľ vymapované a vyčlenené hoci ide o pôdy s výrazne iným produkčným potenciálom a vyššou hodnotou ako pôdy, do ktorých sú tieto jednotky priradené. Modelové riešenie bude východiskovým bodom pre plošné vymedzenie akumulovaných pôd s následným terénnym prieskumom na ďalších eróžno-akumulačných územiach. Výsledky podporujú tézu definovať nový pôdny typ – kolvizem a zaradiť ho do klasifikačného systému pôd.

## Podakovanie

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

## LITERATÚRA

- FAO, 1998. *World Reference Base for Soil Resources, by ISSS-ISRIC-FAO. World Soil Resources report No 84. Rome*
- DE VENTE, J., POESEN, J., VERSTRAETEN, G., VAN ROMPAY, A., GOVERS, G. 2008. Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. *Global and Planetary Change*, 60, s. 393–415.
- DŽATKO, M., SOBOCKÁ, J. 2009. *Príručka pre používanie máp pôdno-ekologických jednotiek*. Inovovaná príručka pre bonitáciu a hodnotenie poľnohospodárskych pôd Slovenska. Bratislava: VÚPOP, 2009. 102 s. ISBN 678-80-89128-55-6.
- ILAVSKÁ, B., 2002. *Comparison of erosion distribution modelling calculating by USLE equation and bonity pedo-ecological units*. Bratislava, In: *Proceeding. Vedecké práce. Bratislava: VÚPOP, 2002 č. 25, s. 31 – 39*. ISBN 80-89128-07-6.
- ILAVSKÁ, B., JAMBOR, P., LAZÚR, R. 2005. *Metodická príručka: Identifikácia ohrozenia kvality pôdy vodnou a veternou eróziou a návrhy opatrení*. Bratislava: VÚPOP, 2005, 52 s. ISBN 80-89128-22-X.
- JAMBOR, P. 1999. Part of a year critical soil erosion. In: *Proceeding. Vedecké práce. Bratislava: VÚPOP, 1999, č. 22, s. 63 – 66*. ISBN 80-85361-68-X.
- KLIMENT, Z., LANGHAMMER, J. 2005: Modelování erozního ohrožení ve velkých územních celcích. In: Ryppl, J. (ed.): *Geomorfologický sborník*, 4, PFJU, České Budějovice, s. 75–81.
- MITÁŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M., IVERSON, L. R. 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of GIS* 10, č. 5, s. 629–641.
- MITÁŠ, L., MITÁŠOVÁ, H. 1998. Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. *Water Resources Research*, 34, č. 3, s. 505–516.
- SOBOCKÁ, J., SKALSKÝ, R. 2002. Identifikácia prejavov eróznno-akumulačných procesov - ich odraz v klasifikácii pôd SR. *Pedologické dni: Degradace půdy*, ČZU Praha, 14. – 15. 10. 2002 Praha, s. 109–113.
- STANKOVIANSKÝ, M., KOCO, Š., PECHO, J., JENČO, M., JUHÁŠ, J. 2008. Geomorphic response of dry valley basin to large scale land-use changes in the second half of 20<sup>th</sup> century and problems with its reconstructions. *Moravian Geographical Reports*, 16, č. 4, s. 16–26.
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, oz. VÚPOP –NPPC. 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska, Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie, Bratislava 2014. ISBN 978–80-8163–005-7.
- VOPRAVIL, J. a kol. 2009. *Půda a její hodnocení v ČR*. VÚMOP, Praha. ISBN: 978-80-87361-02-3.



# AKTUÁLNY OBSAH A VÝVOJ ORTUTI V POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PÔDACH SLOVENSKA

## CURRENT CONTENT AND DEVELOPMENT OF MERCURY IN AGRICULTURAL SOILS OF SLOVAKIA

**Jozef Kobza**

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy,  
Brislava – Regionálne pracovisko, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica a Univerzita Mateja Bela,  
Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, e-mail: j.kobza@vupop.sk*

### Abstrakt

V príspevku je zhodnotený aktuálny obsah ortuti v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Vychádzali sme z dosiahnutých výsledkov monitoringu pôd Slovenska. Celkový obsah ortuti bol stanovený na analyzátore AMA 254. Na základe dosiahnutých výsledkov priemerná hodnota ortuti v poľnohospodárskych pôdach Slovenska je podlimitná ( $0,09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), vyššie hodnoty ortuti boli zaznamenané v oblasti Malachova – Ortút pri Banskej Bystrici (priemerne  $0,24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) a najvyššie nadlimitné hodnoty obsahu ortuti sme zaznamenali v regióne Stredný Spiš (priemerne  $12,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )!

**Kľúčové slová:** ortuť, poľnohospodárske pôdy Slovenska, kontaminácia pôd

### Abstract

Current state of mercury in agricultural soils of Slovakia is evaluated in this contribution. The total content of mercury has been measured on AMA 254 analyzer in the framework of the soil monitoring system in Slovakia. On the basis of obtained results average value of mercury in agricultural soils of Slovakia is lower than valid hygienic limit for Slovakia. Higher values of mercury were measured in the surroundings of Malachov – Ortuty near Banska Bystrica (average value of Hg –  $0.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) and the highest values of mercury were determined in Stredný Spiš region (average value of Hg –  $12.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )!

**Keywords:** mercury, agricultural soils of Slovakia, soil contamination

### ÚVOD

Ortuť je silne rozptýleným prvkom v zemskej kôre s nízkymi koncentraciami v rozsahu  $0,02$ – $0,06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (ČURLÍK, 2011). Priemerný obsah ortuti v pôdach sveta sa pohybuje v rozpätí  $0,05$ – $0,07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (KOLJONEN, 1992, KABATA-PENDIAS – MUKHERJEE, 2007). Priemerný obsah ortuti v pôdach Európy uvádzajú De VOS *et al.* (2006) a to  $0,037 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

---

Hlavným minerálom ortuti je sulfid cinabarit (rumelka) – HgS. V magmatických horninách je obsah ortuti prevažne nízky a značne kolíše, obvykle v rozpätí 0,02 – 0,5 mg. kg<sup>-1</sup> (ZAUJEC, 1999). Nižšie koncentrácie boli zistené len v ultrabázických horninách (asi 0,005 mg. kg<sup>-1</sup>) v porovnaní s kyslými horninami (viac než 0,02 mg. kg<sup>-1</sup>). Treba však zdôrazniť, že ortuť sa vyznačuje značnou prchavosťou, vďaka ktorej sa môže v povrchových horizontoch akumulovať, čo je spôsobené sorpciou ortuti humusom, prípadne väzbou na uhlík a síru (ČURLÍK – ŠEFČÍK, 1999). Namerané koncentrácie ortuti sa v dôsledku jej prchavosti môžu v časovom horizonte meniť, a teda namerané hodnoty môžu byť značne variabilné. Predovšetkým vplyvom redukčných procesov najmä mikrobiálnou činnosťou môže dôjsť k uvoľňovaniu kovovej ortuti a táto môže byť aj v plynnom skupenstve – až 30% z celkového obsahu ortuti v pôde (BENEŠ – PABIÁNOVÁ, 1987).

Z antropogénnych zdrojov možno uviesť emisie zo špeciálnych priemyselných podnikov a hút, príp. emisie vznikajúce pri spaľovaní fosílnych palív. Niekedy sa uvádza aj input ortuti z aplikácie hnojív, fungicídov, komunálneho odpadu, atmosférickou depozíciou a aplikáciou čistiarenských kalov (POLÁKOVÁ *et al.*, 2011), avšak na základe niektorých našich zistení často uvádzané emisie z fungicídnych prostriedkov používaných pre morenie osív v poľnohospodárstve sú z kvantitatívneho hľadiska zanedbateľné (KOBZA *et al.*, 1992).

Okrem výskytu geochemických anomálií s bohatým výskytom cinabaritu (rumelky) – HgS (PETRO, 1991), zdrojmi kontaminácie sú najmä tzv. „geologické hazardy“ z nerastov – z ich úpravy a spracovania v minulosti a ich transportu do bližších i vzdialenejších oblastí. Takéto oblasti sú najmä v regióne Stredný Spiš (Krompachy – Rudňany), čiastočne aj v oblasti Malachova - Ortút pri Banskej Bystrici.

V tomto príspevku sa zaoberáme jednak obsahom ortuti v poľnohospodárskych pôdach z celoslovenského pohľadu, ako aj so zameraním na dva spomínané regióny, ktoré sú z pohľadu kontaminácie pôd ortuťou na Slovensku najrizikovejšie.

## MATERIÁL A METÓDY

Analytické výsledky boli získané z podkladov monitoringu pôd Slovenska. Dosiahli sme tak údaje z celého pôdneho pokryvu poľnohospodárskych pôd Slovenska. V rizikových oblastiach z pohľadu kontaminácie pôd ortuťou bola monitorovacia sieť zahustená. Celková ortuť bola analyzovaná na analyzátore AMA 254, a to v ornici aj v podornici (KOLEKTÍV, 2011). Analýzy boli vykonané na pracovisku laboratórnych činností pri NPPC – VÚPOP v Bratislave. Namerané údaje boli vyhodnotené v prostredí GIS.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Aktuálny obsah ortuti v poľnohospodárskych pôdach Slovenska je uvedený v tabuľke 1.

**Tab. 1** Základné štatistické ukazovatele obsahu ortuti ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v poľnohospodárskych pôdach Slovenska

Hĺbka v cm	Základné štatistické ukazovatele						
	n	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X	median	Sx	Vx (%)
0 – 10	318	0,01	0,80	0,09	0,07	0,06	66,50
35 – 45	318	0,01	0,55	0,05	0,04	0,04	69,85

Vysvetlivky: n – početnosť,  $X_{\min}$  – minimálna hodnota,  $X_{\max}$  – maximálna hodnota, X – aritmetický priemer, Sx – smerodajná odchýlka, Vx – variačný koeficient

Priemerné hodnoty obsahu Hg v poľnohospodárskych pôdach Slovenska sú podlimitné, ako v ornici, tak aj v podornici (KOBZA *et al.* 2014) a variabilita nameraných údajov je pomerne vyrovnaná (66,50 – 69,85 %) – tabuľka 1.

Distribúcia obsahu Hg podľa jednotlivých pôdnych typov je uvedená v tabuľke 2.

**Tab. 2** Základné štatistické ukazovatele obsahu ortuti ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) v hlavných pôdnych typoch Slovenska (0 – 10 cm)

Pôdne typy	Základné štatistické ukazovatele						
	n	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X	median	Sx	Vx (%)
ČM	29	0,01	0,20	0,10	0,10	0,01	62,00
HM	31	0,03	0,08	0,05	0,05	0,01	27,29
LM+PG	48	0,02	0,14	0,05	0,04	0,02	48,76
FM	36	0,01	0,80	0,20	0,10	0,20	122,50
ČA	29	0,02	0,22	0,06	0,05	0,04	61,99
RA	18	0,04	0,60	0,13	0,09	0,14	107,76
RM	8	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	19,90

Vysvetlivky: ČM – černoziem, HM – hnedozem, LM – luvizem, PG – pseudoglej, FM – fluvizem, ČA – čiernica, RA – rendzina, RM – regozem, n – početnosť,  $X_{\min}$  – minimálna hodnota,  $X_{\max}$  – maximálna hodnota, X – aritmetický priemer, Sx – smerodajná odchýlka, Vx – variačný koeficient

**Tab. 3** Základné štatistické ukazovatele obsahu ortuti ( $\text{mg. kg}^{-1}$ ) v hlavných pôdnych typoch Slovenska (35–45 cm)

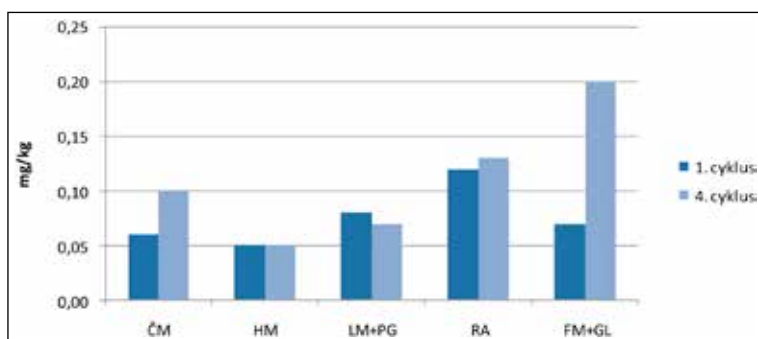
Pôdne typy	Základné štatistické ukazovatele						
	n	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X	median	Sx	Vx (%)
ČM	29	0,01	0,08	0,03	0,04	0,02	53,30
HM	31	0,01	0,08	0,04	0,04	0,02	44,52
LM+PG	48	0,02	0,14	0,05	0,04	0,02	48,76
FM	36	0,02	0,55	0,10	0,06	0,15	155,86
ČA	29	0,01	0,08	0,03	0,04	0,02	53,30
RA	18	0,03	0,13	0,06	0,06	0,03	44,67
RM	8	0,01	0,07	0,02	0,02	0,02	88,53

Vysvetlivky: ČM – černozem, HM – hnedozem, LM – luvizem, PG – pseudoglej, FM – fluvizem, ČA – čiernica, RA – rendzina, RM – regozem, n – početnosť,  $X_{\min}$  – minimálna hodnota,  $X_{\max}$  – maximálna hodnota, X – aritmetický priemer, Sx – smerodajná odchýlka, Vx – variačný koeficient

Priemerné hodnoty Hg sa v ornici poľnohospodárskych pôd Slovenska pohybujú v rozpätí  $0,03–0,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ , v podornici v rozpätí  $0,02–0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$ . To je v súlade s konštatovaním viacerých autorov – tak napr. KOLJONEN (1992), KABATA-PENDIAS – MUKHERJEE (2007) uvádzajú priemerný obsah ortuti v pôdach Európy  $0,037 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Ako uvádzame v predchádzajúcej tabuľke 1, je priemerný obsah ortuti v poľnohospodárskych pôdach Slovenska  $0,09 \text{ mg.kg}^{-1}$  v ornici a  $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$  v podornici.

Napokon dokumentujú to aj dosiahnuté hodnoty Hg v ornici a v podornici (Tab. 2 a 3).

Na nasledovnom obrázku 1 uvádzame porovnanie obsahu Hg v časovom horizonte 1. a 4. monitorovacieho cyklu na vybraných pôdnych typoch Slovenska.

**Obr. 1** Vývoj obsahu Hg na vybraných pôdnych typoch Slovenska

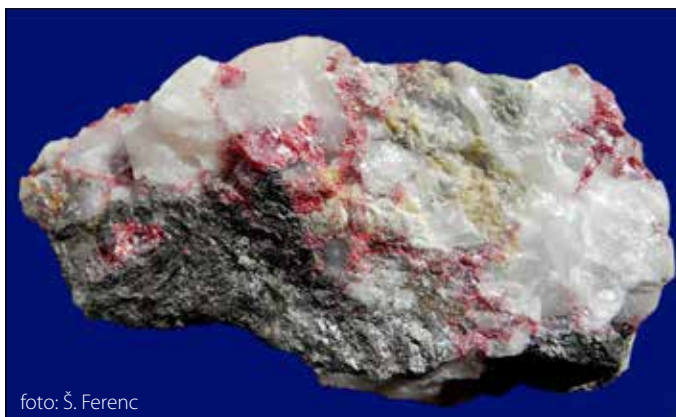
Vysvetlivky: ČM – černozem, HM – hnedozem, LM – luvizem, PG – pseudoglej, RA – rendzina, FM – fluvizem, GL – glej, 1. cyklus (odber pôdnych vzoriek v roku 1993), 4. cyklus (odber pôdnych vzoriek v roku 2007)

Koncentrácie ortuti sú vo vybraných pôdnych typoch v časovom horizonte viac-menej variabilné, najviac pri fluviziach a glejoch, ktoré sú výrazne ovplyvňované vyššou hladinou podzemnej vody s výraznými redukčnými procesmi. Práve vplyvom redukčných procesov

a najmä mikrobiálnou činnosťou môže dochádzať k uvoľňovaniu kovovej ortuti. Táto sa môže vyskytovať aj v plynnom skupenstve – až 30 % z celkového obsahu ortuti v pôde (BENEŠ - PABI-ÁNOVÁ, 1987). Tiež môže ísť o transport ortuti vplyvom vodných tokov a ich prítokov.

Čo sa týka obsahu ortuti v pôdach Slovenska, pripadajú do úvahy dva zaťažené regióny, a to predovšetkým oblasť stredného Spiša (Krupčany – Rudňany) a čiastočne oblasť Malachova – Ortút pri Banskej Bystrici, kde ložiská ortuti s výskytom rumelky (cinabaritu) - HgS sú všeobecne historicky známe.

**Obr. 2** Ukážka výskytu rumelky v asociácii minerálov polymetalických ložísk z oblasti Krupčany – Rudňany



Na obrázku 2 vidieť pestrú zmes minerálov, a to rumelky – HgS (červenej farby) spolu s kremičom –  $\text{SiO}_2$  (bielej farby), sideritom –  $\text{FeCO}_3$  (žltej farby) a tetradritom –  $(\text{Cu,Fe,Ag,Zn})_{12}(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$  (čiernej farby). Jedná sa o asociáciu minerálov hydrotermálnych polymetalických ložísk, ktorá je pre túto oblasť charakteristická.

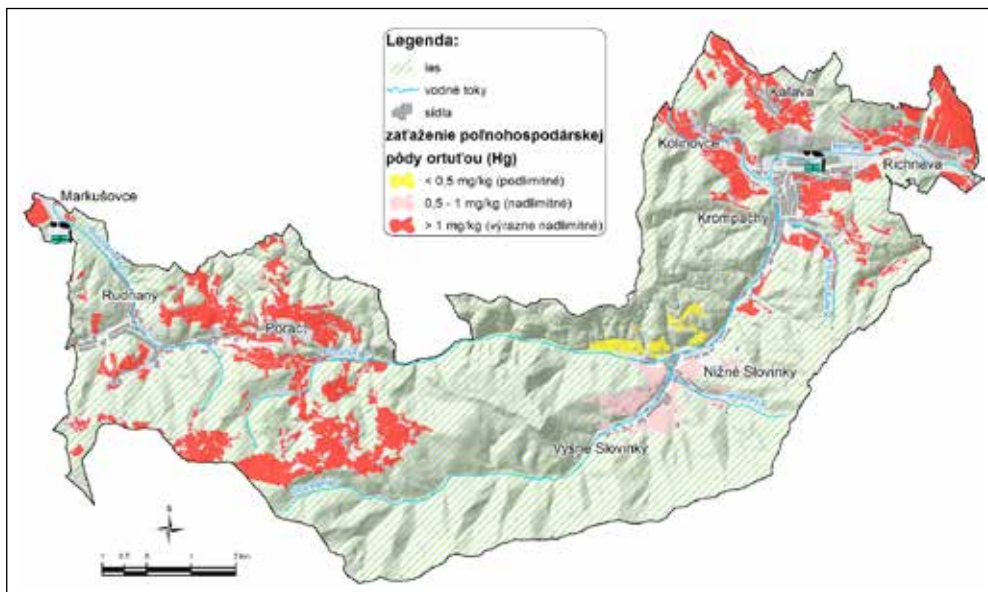
**Obr. 3** Ukážka výskytu na zlepenici z oblasti Malachov – Ortúty pri Banskej Bystrici



Na obrázku 3 vidieť zlepenec s výskytom rumelky – HgS nachádzajúci sa v oblasti Malachova – Ortút pri Banskej Bystrici.

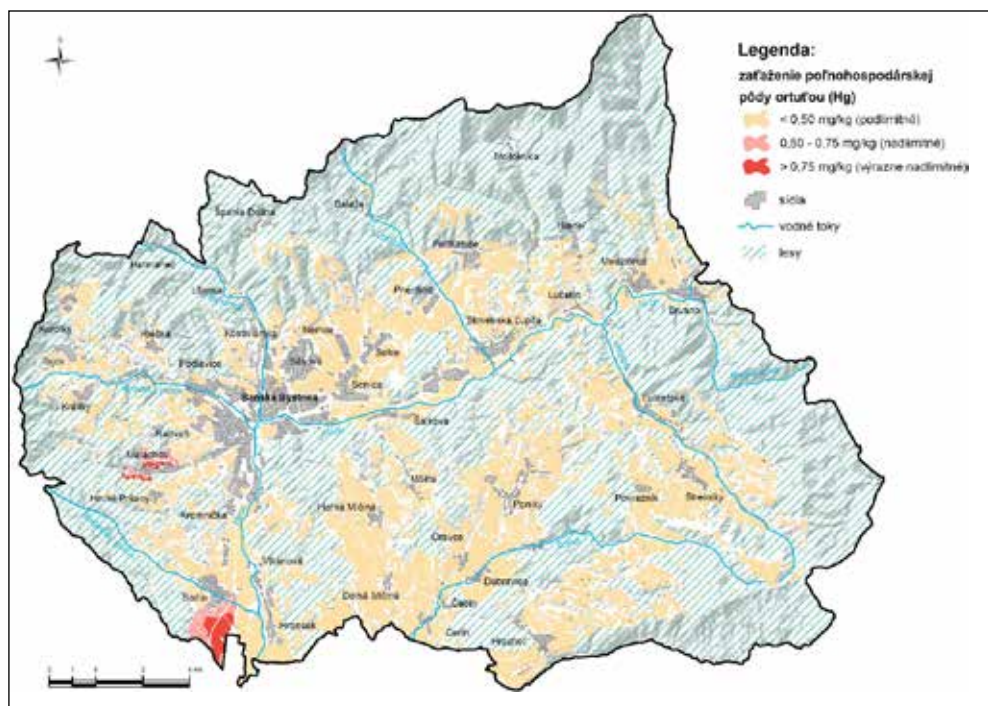
Na mape 1 je znázornená distribúcia ortuti v poľnohospodárskych pôdach oblasti stredného Spiša.

**Mapa 1** Zataženie poľnohospodárskych pôd ortuťou v oblasti stredného Spiša



Ako vidieť na mape 1, nadlimitné až výrazne nadlimitné hodnoty Hg boli zistené v hodnotenom regióne prakticky na všetkých poľnohospodárskych pôdach. I keď ide prevažne o extenzívne trávne porasty, hygienický stav pôd je tu alarmujúci, je výsledkom antropogénneho, ako aj geogénneho vplyvu. V Rudňanoch boli totiž od roku 1899 tepelne spracovávané rudy bohaté na ortuť. Po roku 1991 došlo síce k útlmu banskej činnosti a k zastaveniu výroby ortuti v dôsledku sprísnených požiadaviek na zlepšovanie stavu životného prostredia, avšak súčasné koncentrácie ortuti v danom regióne sú stále alarmujúce (Mapa 1). Výmera nadlimitne kontaminovaných pôd ortuťou (MPSR, 2004 a MPRV SR, 2013) v hodnotenom regióne predstavuje takmer 1 710 ha (KOBZA *et al.*, 2018).

Zvýšený až nadlimitný obsah Hg bol zistený aj v oblasti Malachova – Ortút pri Banskej Bystrici (Mapa 2).

**Mapa 2** Zatiaženie poľnohospodárskych pôd ortuťou v oblasti Malachova a Ortúť

Nadlimitné až výrazne nadlimitné hodnoty Hg tu boli zistené na 2 lokalitách (Mapa 2), a to predovšetkým už v spomínanej oblasti Malachova - Ortúť, kde ložiská ortuti sú všeobecne a historicky známe. Zvýšený až nadlimitný obsah Hg bol zistený aj v nive Badínskeho potoka a zasahuje až po Badín, kde sa Hg dostáva transportom Badínskeho potoka až k ústiu do rieky Hron (Mapa 2). Výrazne nadlimitné obsahy Hg boli zistené v tejto časti hlavne na čierniciach, ktoré sú charakteristické vyšším obsahom kvalitného humusu (molický humusový horizont), ktorý môže vo zvýšenej miere sorbovať akumulovanú ortuť (ČURLÍK – ŠEFČÍK, 1999, KOBZA *et al.* 2012). Výmera nadlimitne kontaminovaných pôd ortuťou (MPSR, 2004 a MPRV SR, 2013) v hodnotenom regióne predstavuje spolu 390 ha (KOBZA *et al.*, 2012).

Na základe doterajších prieskumov a výskumov obsahu Hg v poľnohospodárskych pôdach Slovenska možno konštatovať, že celkovo sa v súčasnosti jedná o výmeru asi 2 100 ha pôd, ktoré sú výrazne kontaminované ortuťou.

## ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov z monitoringu pôd SR možno konštatovať, že priemerný obsah ortuti v poľnohospodárskych pôdach Slovenska je podlimitný. Zvýšené, ako aj nadlimitné hodnoty obsahu ortuti sú lokalizované hlavne v dvoch regiónoch, a to v regióne Krompachy – Rudňany a v okolí Banskej Bystrice – Malachova a Ortúť. Zdrojmi kontaminácie

sú tu hlavne tzv. „geologické hazardy“ z nerastov – z ich úpravy a spracovania v minulosti, rizikové látky odpadov na odkaliskách a haldách z metalurgických a ťažobno-úpravárenských komplexov. Navyše transportom rizikových prvkov vodnými recipientami, a teda aj ortuti, sa táto často dostáva aj do poľnohospodárskej krajiny. Napokon pri hodnotení vývoja obsahu Hg podľa jednotlivých pôdnych typov najvýraznejší nárast jeho obsahu sme zistili práve na fluvizemiach, čo túto skutočnosť len potvrdzuje.

Na základe našich doterajších zistení takmer 2 100 ha poľnohospodárskych pôd Slovenska je viac alebo menej kontaminovaných ortuťou. Bude preto potrebné aj v budúcnosti najmä v uvedených zaťažených regiónoch obsah ortuti (ako aj ďalších rizikových prvkov) v pôde permanentne monitorovať.

## LITERATÚRA

- BENEŠ, S. – PABIÁNOVÁ, J. 1987. *Přirozené obsahy, distribuce a klasifikace prvků v půdách*. VŠZ Praha, 1987, 204 s.
- ČURLÍK, J. – ŠEFČÍK, P. 1999. *Geochemický atlas SR. Časť V: Pôdy*. MŽPSR a VÚPOP Bratislava, 1999, 99 s.
- ČURLÍK, J. 2011. *Potenciálne toxické stopové prvky a ich distribúcia v pôdach Slovenska*. PF UK Bratislava, 2011, 462 s. ISBN 978-80-967696-3-6.
- DeVOS, W. – TARVAINEN, T. – SALMINEN, R. – REEDER, J.A. – DeVIVO, B. – DEMENTRIADES, A. – PIRČ, S. – BATISTA, M.J. – MARSINA, K. – OTTESEN, R. – O'CONNOR, P.J. – BIDOVEC, M. – LIMA, A. – SIEWERS, U. – TAYLOR, H. – SHAW, R. – SALPETEUR, I. – GREGORAUŠKIENE, V. – HALAMIC, J. – SLANIINKA, I. – LAX, K. – GRAVESEN, P. – BIRKE, M. – BREWARD, N. – ANDER, E.L. – JORDAN, G. – ĐURIŠ, M. – KLEIN, P. – PASIECZNA, A. – LIS, J. – MAZREKU, A. – GILUCIS, A. – HEITZMANN, P. – KLAVER, G. – PETERSELL, V. 2006. *Geochemical atlas of Europe, Part 2, Interpretation of geochemical maps*.
- KABATA-PENDIAS, A. – MUKHERJEE, D. 2007. *Trace elements from soil to human*. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 561 p.
- KOBZA, J. – LINKEŠ, V. – DOŠEKOVÁ, A. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – KALÚZ, K. – BULÍK, D. 1992. *Komplexný monitoring poľnohospodárskych pôd Slovenska – súčasný stav*. Správa VÚPÚ Bratislava, 1992, 44 s.
- KOBZA, J. – BARANČIKOVÁ, G. – HRIVŇÁKOVÁ, K. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – STYK, J. – ŠIRÁŇ, M. 2012. *Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu senzitivného územia Banská Bystrica a okolie s dopadom na riešenie pôdochranných opatrení*. VÚPOP Bratislava 2012, 79s. ISBN 978-80-89128-95-2.
- KOBZA, J. – BARANČIKOVÁ, 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)*. NPPC – VÚPOP Bratislava, 252 s. ISBN 978-80-8163-004-0.
- KOBZA, J. – BARANČIKOVÁ, G. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – STYK, J. – ŠIRÁŇ, M. 2018. *Komplexné zhodnotenie aktuálneho stavu poľnohospodárskych pôd senzitivného územia Krompachy – Rudňany a okolie s dopadom na riešenie pôdochranných opatrení*. NPPC – VÚPOP Bratislava, 65 s. ISBN 978-80-8163-028-6
- KOLEKTÍV, 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. VÚPOP Bratislava 2011, 124s. ISBN 978-80-89128-89-1.
- KOLJONEN, T. (Ed.), 1992 *Geochemical Atlas of Finland Part 2, Till*. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland.
- MPSR, 2004. *Zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy z 10. marca 2004*. In: Zbierka zákonov SR, časťka 96 z 28. apríla 2004, MPSR Bratislava, s. 2278 – 2315.
- MPRV SR, 2013. *Vyhľadka MP a RV SR č. 59/2013 Z. z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhládka MP SR č. 508/2004 Z. z. v znení neskorších predpisov*.
- PETRO, M. 1991. *Spríevodná správa k mape geochemických anomálií vybraného súboru prvkov na území SR v M 1:200 000*. Banská Bystrica, 1991 (správa – manuscript).
- POLÁKOVÁ, Š. – KUBÍK, L. – MALÝ, S. – NĚMEC, P. 2010. *Monitoring zemědělských půd v České republice, 1992 – 2007*. ÚKSUZ Brno, 2010, 118 s.
- ZAUIJEC, A. 1999. *Cudzorodé látky a hygiena pôd*. Skriptum SPU Nitra, AF – Katedra pedológie a geológie. SPU Nitra, 1999, 105s. ISBN 80-7137-567-5.



# ZMENY REGULAČNEJ EKOSYSTÉMOVEJ SLUŽBY NA KONTAMINOVANEJ LOKALITE VYUŽÍVANEJ NA PESTOVANIE ENERGETICKÝCH PLODÍN

## CHANGES IN THE REGULATORY ECOSYSTEM SERVICE ON THE CONTAMINATED SITE USED FOR GROWING ENERGY CROPS

Jarmila Makovníková, Miloš Širáň

NPPC/ Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy Bratislava, Regionálne pracovisko Banská Bystrica,  
e-mail: j.makovnikova@vupop.sk,

### Abstrakt

Čistenie pôdy, schopnosť pôdy imobilizovať rizikové prvky patrí k dôležitým službám agroekosytému z hľadiska ochrany hydrosféry a rastlinnej produkcie pred kontamináciou. Od roku 2010 monitorujeme v rámci siete špeciálnych lokalít monitoringu pôd lokalitu Kuchyňa (čierica modálna) s porastom rýchlorastúcej vrbý (*Salix viminalis*) pestovanej na energetické účely na ploche cca 43 ha. Lokalita Kuchyňa patrila pri zakladaní porastu medzi degradované, kontaminované lokality. Pri porovnaní rokov 2010 a 2018 pozorujeme pozitívny trend vo vývoji celkového obsahu rizikových prvkov v pôde (kadmium, zinok, nikel). Remedialná schopnosť vrbý vzhľadom k rizikovým prvkom sa prejavila akumulovaním týchto prvkov v drevnej hmote a znížením celkového obsahu kadmia, zinku a niklu v pôde pod limitnú hodnotu. Regulačnú ekosystémovú službu, potenciál imobilizácie rizikových prvkov, sme hodnotili na základe súčtu ratingového hodnotenia potenciálu kontaminácie a sorpčného potenciálu pôd. Poklesom celkového obsahu rizikových prvkov v pôde pod limitnú hodnotu sa zvýšil potenciál regulačnej služby agroekosytému, potenciál imobilizácie rizikových prvkov, čím sa znížilo riziko prechodu kontaminantov do ostaných zložiek životného prostredia.

**Kľúčové slová:** agroekosystémové služby, rizikové prvky, rýchlorastúce dreviny, fyto-remediácia

### Abstract

Soil cleaning, the ability of the soil to immobilize the risk elements, belongs to important agroecosystem services in terms of protection of the hydrosphere and plant production from contamination. Dynamic monitoring of selected indicators of soil quality was realized in a special network of sites on soil used for planting fastgrowing willow (*Salix viminalis*). Monitoring of the locality Kuchyňa (Mollic Fluvisol) is running since 2010 year. The coppice of the fast-growing willow was planted on area of about 43 hectares. Locality Kuchyňa belonged to

the degraded contaminated sites, at the time of planting. When comparing the years 2010 and 2018 we observe a positive trend in the development of the total content of risk elements in soil (cadmium, zinc and nickel). The remediation ability of the willow in relation to the risk elements was manifested by the accumulation of these elements in the wood mass and the decrease of the total content of cadmium, zinc and nickel in the soil below the limit value. The regulatory ecosystem service, the potential for the immobilisation of risk elements, was evaluated on the basis of the sum of the assessment of the contamination potential and the sorption potential of soils. The decrease of the total content of risk elements in the soil below the limit value has manifested the increase of potential of the agroecosystem regulatory service, the potential of risk element immobilisation. Higher potential of immobilisation reduces the risk of contaminants transport and thus prevents contamination of the other ecosystem components such as biota.

**Keywords:** biomass, fast-growing tree species, risk elements, soil quality indicators

## ÚVOD

Ekosystémové služby sú zo svojej podstaty určené vzájomnou interakciou medzi ekologickými a sociálnymi systémami, pretože len tie ekosystémové procesy, ktoré prispievajú k naplneniu ľudských potrieb, sú definované ako ekosystémové služby (BIRGHOFER *et al.*, 2015). Tým, že pôda podmieňuje mnohé ekosystémové služby, odráža sa na nej aj konflikt ich spolupôsobenia. Napríklad plnenie zásobovacích služieb je často v konflikte s plnením regulačných či kultúrnych služieb. Vysokú produkciu biomasy je často možné dosiahnuť len na úkor znečistenia pôdy ťažkými kovmi alebo organickými polutantmi vnášanými do pôdy minerálnymi hnojivami či pesticídmi, negatívne ovplyvňujúcimi kvalitu pôdy ale aj vody. Takéto spolupôsobenie vytvára na pôdu zvýšený tlak prejavujúci sa zhoršením jej kvality, čo následne znižuje jej schopnosť poskytovať ekosystémové služby. Podľa MEA (2005) sú agroekosystémy často využívané až na hranici únosnosti (zásobovacie služby), čo vedie ku zníženiu ich multifunkčnosti a schopnosti (kapacity) poskytovať spoločnosti regulačné a kultúrne služby. V agroekosystéme patrí regulácia vodného režimu (akumulácia vody), regulácia odnosu pôdy (regulácia erózie), regulácia klímy (zásoby uhlíka v pôde) a filtrácia polutantov (čistenie pôdy) k hlavným regulačným službám (DOMINATI *et al.*, 2013, COSTANZA, 2008).

Filtrácia látok je prirodzená schopnosť ekosystému zadržať resp. imobilizovať látky v pôdnom profile. Schopnosť pôdy imobilizovať rizikové prvky patrí k dôležitým službám agroekosystému z hľadiska ochrany hydrosféry a rastlinnej produkcie pred kontamináciou. Schopnosť akumulovať rizikové prvky z pôdy a tým znižovať ich prístupný obsah v pôde, znižovať stupeň degradácie má aj vegetácia, pôdne baktérie a mikroorganizmy (HANSEN *et al.*, 2001). Vegetácia sa môže podieľať na čistení pôdy fytoakumuláciou/fytoextrakciou, fytotransformáciou a fytostabilizáciou. K fytoextraktorom patria aj niektoré rýchlorastúce dreviny pestované na poľnohospodárskej pôde, ktoré sa využívajú na energetické účely.

Energetické porasty rýchlorastúcich drevín (topoľ, vrba, agát, osika, jelša), jednoročných

a viacročných energetických plodín tvoria perspektívny zdroj palivovej biomasy. Energetické porasty možno zakladať na plochách nevhodných pre klasickú poľnohospodársku a lesnícku produkciu, na pôdach dočasne vylúčených z poľnohospodárskej výroby, pôdach kontaminovaných, vhodných len na produkciu pre nepotravinárske účely a tiež na zdevastovaných plochách v priemyselných aglomeráciách. Využívanie poľnohospodárskych pôd na pestovanie energetických plodín je integrované aj v spracovaných výhľadoch a prognózach ďalšieho rozvoja poľnohospodárstva a je aj súčasťou koncepcných, strategických a legislatívnych nástrojov štátu a EÚ (KRIŠŠÁK *et al.*, 2006, ÚRADNÝ VESTNÍK EU, 2009, STRAKA 2009, POVRAZ *et al.*, 2010). Cielené pestovanie energetických plodín a drevín, v súlade s environmentálnymi štandardami, umožňuje efektívne využívanie predovšetkým menej produkčnej poľnohospodárskej pôdy ako aj degradovanej poľnohospodárskej pôdy (kontaminovanej anorganickými polutantmi).

Cieľom príspevku je zhodnotiť zmeny regulačnej ekosystémovej služby na kontaminovanej lokalite využívané na pestovanie energetických plodín.

## MATERIÁL A METÓDY

Monitorovacia lokalita je kruhového tvaru o polomere 10 m a celkovej ploche 314 m<sup>2</sup> (KOLEKTÍV, 2011), v strede je charakterizovaná pedologickou sondou. Pôdne vzorky sme odobrali z 5-tich miest z hĺbky 0–10 cm a 35–45 cm. Pôdne vzorky sa odoberajú tak, aby nedošlo k zmiešaniu dvoch rozdielnych pôdnych horizontov. Monitorovaná lokalita sa nachádza v oblasti Záhorskej nížiny, pôdny typ čiernica modálna (MKSP 2014), kontaminovaná na nekarbonátových substrátoch (Societas pedologica slovacica 2014) a patrí podľa Metodického usmernenia MP SR č. 3187/2007–430 k pôdam vhodným na pestovanie rýchlorastúcich drevín.

Na ploche cca 43 ha je od roku 2006 porast rýchlorastúcej vrbý (*Salix viminalis*) pestovanej na energetické účely. Len v prvom roku výsadby bolo aplikované organominerálne kvapalné hnojivo Darina. Na jeseň v roku 2012 bol porast rýchlorastúcej vrbý zrezaný. V roku 2018 bola lokalita spustnutá, na celej lokalite bol už vyschnutý porast rýchlorastúcej vrbý (Obr. 2).

Okrem odberu pôdnych a rastlinných vzoriek na chemický rozbor sme odobrali aj fyzikálne valce o objeme 100 cm<sup>3</sup>, 2 valčeky z hĺbky 0–10 cm a 2 valčeky z hĺbky 30–35 cm. V pôdnych a rastlinných vzorkách boli stanovené jednotlivé parametre podľa záväzných metodík (KOLEKTÍV, 2011). Celkový obsah anorganických polutantov na danej lokalite sme v roku 2010 hodnotili v súlade s Vyhláškou 59/2013 MPRV SR, ktorou sa mení a dopĺňa Zákon o pôde 220/2004 Z. z.

**Obr. 1** Lokalita Kuchyňa, čiernica modálna, kontaminovaná



**Obr. 2** Lokalita Kuchyňa, porast vŕby v roku 2010 a v roku 2018



Regulačnú agroekosystémovú službu, imobilizáciu rizikových prvkov, sme hodnotili v 5 kategóriách na základe súčtu ratingového hodnotenia indikátora kontaminácie a indikátora sorpčného potenciálu pôd (metóda hodnotenia je bližšie popísaná v našom predchádzajúcom článku (MAKOVNÍKOVÁ *et al.* 2007 a MAKOVNÍKOVÁ *et al.* 2017). Kategórie potenciálu tejto regulačnej služby sú nasledovné: veľmi nízky potenciál ( $>6,50$ ), nízky potenciál ( $5,51 - 6,50$ ), stredný potenciál ( $4,51 - 5,50$ ), vysoký potenciál ( $3,50 - 4,50$ ) a veľmi vysoký potenciál ( $<3,50$ ).

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Lokalita Kuchyňa sa nachádza v teplej klimatickej oblasti. Čiernica modálna, kontaminovaná, na tejto lokalite patrí k stredne ťažkým pôdam, hlinitým. Objemová hmotnosť pôdy v sledovanom období sa pohybovala v rozmedzí  $1,44 - 1,57 \text{ g.cm}^{-3}$  v hĺbke  $0 - 10 \text{ cm}$  a od  $1,60 - 1,65 \text{ g.cm}^{-3}$  v hĺbke  $35 - 45 \text{ cm}$ . Obsah skeletu v pôde sa výrazne zvyšuje s hĺbkou, a to od  $5\%$  v hĺbke  $0 - 10 \text{ cm}$  do  $60\%$  v hĺbke  $35 - 45 \text{ cm}$ .

Lokalita Kuchyňa patrí k pôdam so slabou kyslou až kyslou hodnotou pôdnej reakcie, hodnota pôdnej reakcie len mierne stúpa s rastúcou hĺbkou odberu a aj v substráte patrí do slabou kyslej oblasti. Vyšší obsah organickej hmoty nižšej kvality v celom profile spolu s hodnotou pôdnej reakcie a stredným obsahom prístupných živín zaraďujú túto lokalitu k stredne rezistentným pôdam vzhľadom k acidifikácii (MAKOVNÍKOVÁ *et al.* 2007).

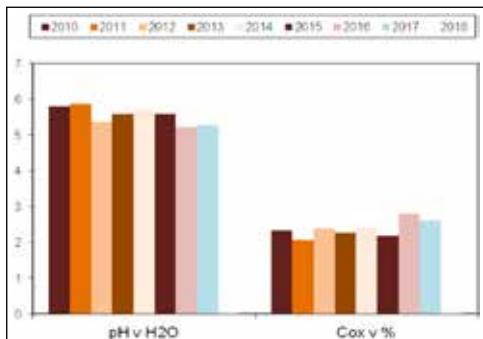
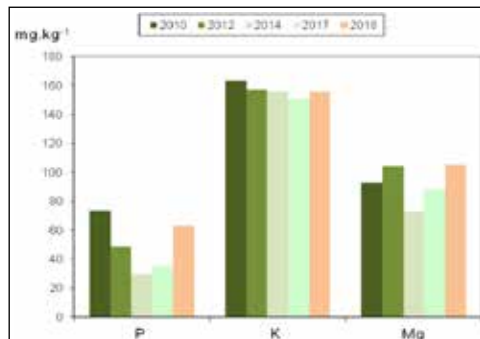
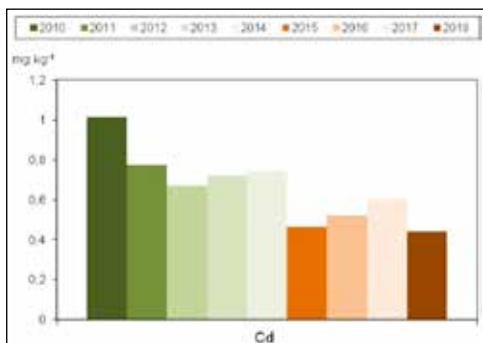
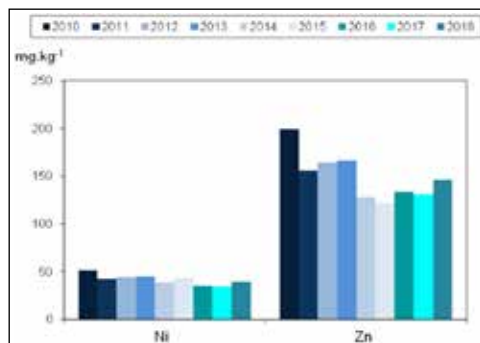
Celkový obsah anorganických polutantov na danej lokalite sme v roku 2010 hodnotili v súlade s Vyhláškou 59/2013 MPRV SR, ktorou sa mení a dopĺňa Zákon o pôde 220/2004 Z. z. Obsah As bol podlimitný a mierne stúpajú smerom k substrátu. Kadmium nepatrí k esenciálnym prvkom a pri prekročení koncentrácie, špecifickej pre kov a organizmus, pôsobí toxicky. Obsah Cd bol najvyšší v hĺbke  $0 - 10 \text{ cm}$  a smerom k substrátu klesal, výrazne však prekročoval limitnú hodnotu v hĺbke  $0 - 10 \text{ cm}$ ,  $20 - 30 \text{ cm}$  aj  $35 - 45 \text{ cm}$ , lokalita Kuchyňa patrila v čase založenia porastu medzi kontaminované lokality. Obsah Co bol bez výrazných profilových trendov, avšak

v hĺbke 20–30 cm a 35–45 cm bol obsah tohto prvku nad limitnou hodnotou stanovenou pre tento prvok. Obsah Cr bol bez výrazných profilových trendov. Obsahy Cu, Pb aj Hg boli podlimitné v celom profile s miernym stúpaním s rastúcou hĺbkou. Opačný trend sme pozorovali v prípade Ni a Zn, ktoré v celom profile výrazne prekračovali nadlimitné hodnoty. Pre niektoré živočíchy je nikel aj zinok dôležitým stopovým prvkom, pri veľmi nízkych koncentráciách majú fyziologický efekt. Pri monitorovaní v nasledujúcom období sme sa zamerali len na obsahy nadlimitných prvkov Cd, Zn a Ni (Tab. 1).

**Tab. 1** Indikátory kvality pôdy

Parameter		Hĺbka 0–10 cm		Hĺbka 35–45 cm	
		Rok 2010	Rok 2018	Rok 2010	Rok 2018
pH v H <sub>2</sub> O		5,81	5,58	5,80	5,52
pH v KCl		5,21	4,91	5,21	5,05
pH v CaCl <sub>2</sub>		5,23	5,10	5,31	5,20
výmenné katióny v cmol(p+).kg <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup>	0,150	0,030	–	–
	K <sup>+</sup>	0,506	0,246	–	–
	Ca <sup>2+</sup>	11,230	15,700	–	–
	Mg <sup>2+</sup>	0,890	1,150	–	–
Cox v %		2,250	2,35	1,958	2,09
Q <sub>6</sub> <sup>4</sup>		4,09	–	3,910	–
makroživiny v mg.kg <sup>-1</sup> (Mehlich III.)	P	73,70	63,04	43,50	47,880
	K	163,00	155,80	106,00	129,30
	Mg	92,70	105,08	119,00	117,34
stopové prvky v pôde v mg.kg <sup>-1</sup> (celkový obsah v lúčavke kráľovskej)	Cd	1,016	0,443	0,822	0,340
	Zn	199,000	146,000	287,000	157,000
	Ni	51,500	39,600	69,600	44,400
stopové prvky v pôde v mg.kg <sup>-1</sup> (vo výluhu 1 M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	Cd	0,009	0,005	–	–
	Zn	0,320	0,576	–	–
	Ni	0,176	0,202	–	–

V hĺbke 0–10 cm ako aj v hĺbke 35–45 cm (Tab. 1) došlo v porovnaní rokov 2010 a 2018 k miernemu poklesu hodnoty aktívnej pôdnej reakcie (Obr. 3a). Výraznejšie sa zmenil obsah prístupného fosforu v pôde, zaznamenali sme pokles až o 53 % (v hĺbke 0–10 cm) a o 12 % (v hĺbke 35–45 cm) v roku 2017, kedy bol porast už spustnutý, v roku 2018 sa obsah fosforu zvýšil (nedochádzalo k jeho odčerpávaniu porastom vŕby) a jeho pokles v porovnaní s rokom 2010 bol už len 14 % (Obr. 3b). Obsah prístupného draslíka v hĺbke 0–10 bol v roku 2018 nižší v porovnaní s rokom 2010, obsah horčíka sa naopak zvýšil o 1,13%. Ani v roku 2018 sme nezaznamenali zníženie obsahu organickej hmoty v pôde v hĺbke 0–10 cm pri jej využívaní na pestovanie rýchlorastúcich drevín, ktoré uvádza vo svojej práci aj MCCLEAN GARY (2012), naopak, pri spustnutí porastu rýchlorastúcej vŕby došlo k veľmi miernemu zvýšeniu obsahu pôdnej organickej hmoty v oboch sledovaných hĺbkach.

**Obr. 3a** Zmeny hodnoty pH v H<sub>2</sub>O a Cox v hĺbke 0–10 cm**Obr. 3b** Zmeny v obsahu P, K, Mg v hĺbke 0–10 cm**Obr. 3c** Zmeny stopových prvkov v pôde – Cd v hĺbke 0–10 cm**Obr. 3d** Zmeny stopových prvkov v pôde – Ni, Zn v hĺbke 0–10 cm

K pozitívnym zmenám došlo pri celkovom obsahu kadmia, zinku a niklu, obsah zinku sa znížil o 27 % v porovnaní s rokom 2010, obsah niklu je nižší o 23 % (Obr. 3d) a obsah Cd o 57 % (Obr. 3c), uvedené prvky majú v priebehu sledovania klesajúci trend.

Vrba patrí k potenciálne rezistentným plodinám vzhľadom k vysokým obsahom rizikových prvkov a zároveň patrí k významným fytoextraktorom využívaným v procese prirodzenej fytoremediácie/fytoextrakcie (SCHMIDT, 2003). Obsah Cd v drevnej hmote sa v priebehu sledovania pohyboval od 2,730 do 9,520 mg.kg<sup>-1</sup>, obsah Zn od 160,00 do 432,00 mg.kg<sup>-1</sup>. Priemerná hodnota bioakumulačného faktora pre Cd (pomer celkového obsahu Cd v rastline k celkovému obsahu Cd v pôde) v sledovanom období bola 9,36 (minimálna 7,05 v roku 2010 a maximálna 15,01 v roku 2015). Bioakumulačný faktor Zn bol výrazne nižší, s priemernou hodnotou 1,54 (minimálna 0,41 v roku 2013 a maximálna 2,63 v roku 2012). Vrba nepatrí ku hyperakumulátorom Cd a Zn, avšak má výrazný objem ročného prírastku biomasy. Pre kombinovanú kontamináciu patrí k najlepším hyperakumulátorom peniažtek modrastý (*Thlaspi caerulescens*) (LONE *et al.*, 2008).

Celkový obsah kadmia, niklu aj zinku v pôde klesol v roku 2018 pod limitnú hodnotu podľa Vyhlášky 59/2013 MPRV SR, ktorou sa mení a dopĺňa Zákon o pôde 220/2004 Z.z. Pokles rizikových prvkov na danej lokalite ovplyvnil aj regulačnú službu, potenciál imobilizácie rizikových prvkov.

Zmeny hodnoty regulačnej ekosystémovej služby, potenciálu imobilizácie rizikových prvkov, hodnotené na základe súčtu ratingového hodnotenia potenciálu kontaminácie a sorpčného potenciálu pôd sú uvedené v tabuľke 2.

**Tab. 2** Zmeny potenciálu regulačnej ekosystémovej služby

Potenciál	Rok 2010		Rok 2018	
	Bodové hodnotenie	Kategória	Bodové hodnotenie	Kategória
Potenciál rizika kontaminácie	5,0	veľmi vysoký	1,0	nízky
Sorpčný potenciál pôdy	4,50	nízky	4,50	nízky
Regulačná ekosystémová služba – potenciál imobilizácie rizikových prvkov	9,50	veľmi nízky	5,50	stredný

Pokles celkového obsahu rizikových prvkov v pôde pod limitnú hodnotu podľa Vyhlášky 59/2013 MPRV SR, ktorou sa mení a dopĺňa Zákon o pôde 220/2004 Z.z. zvýšil potenciál regulačnej služby, potenciál imobilizácie rizikových prvkov na danej lokalite, čím sa znížil potenciál rizika prechodu kontaminantov do ostaných zložiek životného prostredia.

## ZÁVER

Primárnym cieľom udržateľného rozvoja spojeného s efektívnym využívaním prírodných zdrojov je zabezpečiť, aby využívanie prírodných zdrojov a s tým súvisiaci dopad na životné prostredie, teda aj na kvalitu pôdy, nepresiahol únosnú hranicu. V priebehu sledovania poľnohospodárskej pôdy využíwanej na pestovanie energetických plodín (lokalita Kuchyňa) pozorujeme negatívny trend v obsahu prístupných živín (fosfor a draslík) a pozitívny trend vo vývoji celkového obsahu rizikových prvkov v pôde. Fytoremediačná schopnosť víby vzhľadom k rizikovým prvkom sa na sledovanej lokalite prejavila zvýšením potenciálu regulačnej agroekosystémovej služby, potenciálu imobilizácie rizikových prvkov.

Manažment agroekosystémov by mal mať vždy na zreteli udržanie multifunkčnosti pôdy a tým aj udržanie potenciálu agroekosystému poskytovať ekosystémové služby v celom rozsahu.

## Podakovanie

Príspevok vznikol za podpory projektu APVV-0098 – 12: *Analýza, modelovanie a hodnotenie agroekosystémových služieb* a úlohy *Monitoring pôd SR – hodnotenie aktuálneho stavu a vývoja vlastností pôd s dôrazom na ich ochranu a využívanie*.

## LITERATÚRA

- BENEŠ, S. 1993. *Obsahy a bilance prvků ve sférach ŽP.I. část*. MZ ČR Praha 1. 1993, 88 str., ISBN 80-7084-051-X.
- BIRGHOFER, K. – DIEHL, E. – ANDERSSON, J. – EKROOS, J. – FRÜH-MÜLLER, A. – MACHNIKOWSKI, F. MADER, V.L. – NILSSON, L. – SASAKI, K. – RUNDLÖF, M. – WOLTERS, V. – SMITH, H.G. 2015. Ecosystem services. current challenges and opportunities for ecological research. *Front. Ecol. Evol.*, 12, <http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2014.00087>.
- COSTANZA, R. 2008. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 141: 350–352.
- DEMO, M. et al., 1998. *Usporiadanie a využívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine*. Nitra: SPU, 1998, 302 s. ISBN 80-7137-525-X.
- DANIEL, J. – HABOVŠTIK, J. 2012. Poľnohospodársky výskum v energetickom programe. In: *Agrobioenergetika*. [http: \[cit.2011 – 10-11\]](http://www.abe.sk/casopis.html). Dostupné na internete: [//www.abe.sk/casopis.html](http://www.abe.sk/casopis.html).
- DOMINATI, E. – PATTERSON, M. – MACKAY, A. 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69, pp. 1858–1868.
- GONDA, L. – ABRHAM, Z. – ANDERT, D. – GADUŠ, J. – GUŠTAFÍKOVÁ, T. – KANIANSKA, R. – KIZEKOVÁ, M. – KUNSKY, M. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – MALIŠ, J. – OBRCIANOVÁ, D. – PEPICH, Š. 2010. *Poľnohospodárska biomasa – obnoviteľný prírodný zdroj*. CVRV Piešťany 2010.
- HANSEN, H.C.B. – KOBZA, J. – SCHMIDT, R. – SZAKÁL, P. – BORGAARD, O.K. – HOLM, PE. – KANIANSKA, R. – BOGNAROVA, S. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – MATÚŠKOVÁ, L. – MIČUDA, R. – STYK, J. 2001. *Environmental Soil Chemistry*. Scriptum, 191 p.
- KOLEKTÍV, 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. Bratislava: VÚPOP Bratislava, 124 pp. ISBN 978-80-89128-89-1.
- KRIŠŠÁK, P. – JANDAČKA, J. – MALCHO, M. 2006. Legislatíva a podporné mechanizmy súvisiace s energetickým využitím biomasy v SR. In: *Biomasa ako zdroj energie*, 6. – 7. 2006, Ostravica, ČR, s. 24–32, ISBN 80 248-1180 0.
- LONE, M.I., HE, Z.L. – STOFFELLA, P.J. – YANG, X.E. 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. *J Zhejiang Univ Sci B*. 9(3):210–20.
- MAKOVNÍKOVÁ, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – PÁLKA, B. 2007. Approach to the assessment of transport risk of inorganic pollutants based on the immobilisation capability of soil. In: *Plant, Soil and Environment*, vol. 53, 2007, č. 8, s. 365–373
- MAKOVNÍKOVÁ, J. 2007. *Využitie indikátorov pri identifikácii rizikových oblastí acidifikácie pôdy*. Bratislava: VÚPOP, 2007, 30 s. ISBN 978–80-89128–37-2.
- MAKOVNÍKOVÁ, J. 2011. Acidifikácia pôd. In: KOBZA, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – BEŽÁKOVÁ, Z. – DODOK, R. – HRIVNÁKOVÁ, K. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – STYK, J. – ŠIRÁŇ, M. *Monitoring a hodnotenie vlastností pôd SR a potenciálov ich vývoja*. VUPOP Bratislava, 2011., 18–28
- MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – ŠIRÁŇ, M. – KANIANSKA, R. – KIZEKOVÁ, M. – JAĎUĎOVÁ, J. 2017. *Modeling and Assessing of Agroecosystem Services* (Slovak: Modelovanie a hodnotenie agroekosystémových služieb). Banská Bystrica: Belianum. ISBN: 978-80-557-1242-0
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet: Summary for Decision Makers. *The Millennium Ecosystem Assessment Series*, Volume 5, Island Press, Washington DC.
- MCCLEAN, G. 2012. *The effects of land conversion to bioenergy crops on soil carbon*. In Proceedings 4<sup>th</sup> international Congress Eurosoil 2012, Bari, Italy, 2–6 July 2012, p.394
- PIERCE, F. – LAL, R. 1991. Soil management in the 21<sup>st</sup> century. In LAL, F.J. - PIERCE, F.J. (eds.). *Soil management for sustainability*. Ankeny: Soil Water Conserv. Soc., 1991, p. 175–180.
- PIERCE, F. – LARSON, W. 1993. Developing criteria to evaluate sustainable land management. In KIMBLE, J.M. (ed). *Utilization of soil survey information for sustainable land use*. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Soil Management Workshop. Lincoln USDA-SCS, National Soil Surv. Center, 1993, p. 7–14.
- POVRAZ, P. – NAŠČÁKOVÁ, J. – KOTOROVÁ, D. – KOVÁČ, L. 2010. Poľné plodiny ako zdroj biomasy na energetické využitie v podmienkach Slovenska. In: *Inovatívne technológie pre efektívne využitie biomasy v energetike*. s. 66–75, Dostupné na internete: [http://enersupply.euke.sk/wp-content/uploads/66-75\\_porvaz-nasackova-kotorova-kovac.pdf](http://enersupply.euke.sk/wp-content/uploads/66-75_porvaz-nasackova-kotorova-kovac.pdf)
- SCHMIDT, U. 2003. Enhancing phytoextraction: the effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation and leaching of heavy metals. *Journal of Environmental Quality*, vol. 32, no. 6, pp. 1939–1954.



SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie. Bratislava: NPPC – VÚPOP Bratislava 2014, 96 p., ISBN 978-80-8163-005-7.

STRAKA, L. 2009. Energetické využitie fytomasy pestovanej na Slovensku. In. *Biom.Cz.* [on-line] [cit.2010–04-06]. Dostupné na internete: <http://biom.cz/cz-pestovani-biomasy/odborne-clanky>, ISSN 1801–2655.

*Vyhláška 59/2013 MPRV SR.*

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

*Zákon o pôde č. 220 (2004).* Zbierka zákonov, 220/2004, 2290–2292.

*Vyhláška č. 59/2013.* Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky.

---

# POTENCIÁL AGROEKOSYSTÉMOVÝCH SLUŽIEB V OKRESE BANSKÁ BYSTRICA

## THE POTENTIAL OF AGROECOSYSTEM SERVICES IN BANSKÁ BYSTRICA DISTRICT

**Boris Pálka, Jarmila Makovníková, Miloš Širáň**

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy,  
Regionálne pracovisko v Banskej Bystrici, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica, b.palka@vupop.sk*

### Abstrakt

Koncept ekosystémových služieb sa stal dôležitým nástrojom na modelovanie interakcií medzi ekosystémami a ich vonkajším prostredím. Ekosystémové služby spojené s prírodným kapitálom sa dajú rozdeliť do troch kategórií služieb: zásobovacie, regulačné a kultúrne. Tradične sa agroekosystémy považovali predovšetkým za zdroje poskytovania produkčných služieb, avšak podľa viacerých autorov agroekosystémy môžu poskytovať okrem produkčných (zásobovacích) služieb aj regulačné a kultúrne služby. Veľká časť agroekosystémov v okrese Banská Bystrica patrí do kategórie nízkeho a stredného potenciálu zásobovacích služieb so silnou dominanciou kategórie stredného potenciálu (plocha 64,04 %). Väčšina z celkovej rozlohy okresu Banská Bystrica patrí do kategórií nízkych (41,52 %) a veľmi nízkych potenciálov (42,79 %) na reguláciu vodného režimu. Tento okres má vysoký podiel kategórie s nízkym potenciálom (64,04 %) na reguláciu odnosu pôdy spôsobeného vodnou eróziou, zatiaľ čo kategória veľmi vysokého potenciálu nie je zastúpená. Nízky potenciál imobilizácie rizikových prvkov je prítomný vo viac ako 89 % celkovej plochy poľnohospodársky využívaných pôd. Potenciál prírodných podmienok pre rekreáciu je vyšší iba v agroekosystémoch s vyšším podielom plochy agroekosystémov trávnatých plôch a chránených území NATURA 2000. Väčšina z celkovej rozlohy okresu Banská Bystrica patrí k vysokej kategórii potenciálu prírodných podmienok pre rekreáciu.

**Kľúčové slová:** potenciál agroekosystémových služieb, poľnohospodárska pôda

### Abstract

The concept of ecosystem services has become an important tool for modelling interactions between ecosystems and their external environment. Ecosystem services linked to natural capital can be divided into three services categories (provisioning, regulating and cultural). Traditionally, agroecosystems have been considered primarily as sources of provisioning services, however according to several authors agroecosystems can provide a range of other regulating and cultural services to human communities. A large part of the agroecosystems in Banská Bystrica district belongs to the category of low and medium potential of provisioning

services, with a strong domination of category of medium potential (64.04% area). The majority of the total area of Banská Bystrica district belongs to the categories of low (41.52%) and very low potential (42.79%) for regulation of water regime. This district has a high proportion of category of low potential (64.04%) to regulate run-off of the soil caused by water erosion, whereas the category of very high potential is not presented. The low potential for immobilization of risk elements is present in more than 89% of the total agricultural land. Potential of natural conditions for recreation is higher only in agroecosystems with a higher proportion of area of grassland agroecosystems and protected areas NATURA 2000. The majority of the total area of Banská Bystrica district belongs to the high category of potential of natural conditions for recreation.

**Keywords:** potential of agroecosystem services, Slovakia, Banská Bystrica district, agriculture land

## ÚVOD

Jedny z ekosystémov, ktoré sú ovplyvnené a pozmenené ľudskou činnosťou nazývame agroekosystémy. Vyznačujú sa jednoduchšou biodiverzitou (POWER, 2010) a porasty prirodzenej vegetácie sú väčšinou nahradené synantropnou vegetáciou ako výsledok poľnohospodárskej činnosti. Realizáciu ekosystémových služieb podmieňujú ekosystémové vlastnosti, ktoré sú súborom ekologických podmienok, štruktúr a procesov (VAN OUDENHOVEN *et al.*, 2012). Z pohľadu diverzity a komplexity ekosystémov a služieb, existuje mnoho ich klasifikácií a členení. Na medzinárodnej úrovni je široko akceptovaná kategorizácia agroekosystémových služieb podľa DOMINATI *et al.* (2010). Rozlišuje tri hlavné kategórie:

- Zásobovacie služby
- Regulačné služby
- Kultúrne služby

Zásobovacie agroekosystémové služby boli donedávna považované za dominantné služby, ktoré poľnohospodárska pôda ľuďom poskytuje. Prvotne je to schopnosť agroekosystému produkovať potravu a krmoviny a v neposlednom rade vlákna a biopalivá (BUJNOVSKÝ *et al.*, 2011). Klimatické podmienky a vlastnosti pôd, ktoré tvoria prostredie pre rast a vývoj rastlín, determinujú celkový potenciál zásobovacej ekosystémovej služby poľnohospodárskej krajiny.

Zásoby prírodného kapitálu, ktoré zabezpečujú aktuálny aj budúci tok ekosystémových služieb, predstavujú potenciál ekosystémových služieb (COSTANZA, 2008). K hlavným regulačným službám v ekosystémoch poľnohospodárskych pôd patrí regulácia odnosu pôdy, regulácia klímy, regulácia vodného režimu a filtrácia polutantov (DOMINATI, 2013).

Rozrušovanie pôdy a jej odnos označujeme ako erózia. Erózia pôdy je najvýznamnejšia forma fyzikálnej degradácie pôdy aj na Slovensku (STYK – PÁLKA, 2005). Agroekosystémy majú určitú schopnosť regulácie odnosu pôdy, teda redukujú jej eróziu a tak zabraňujú degradácii poľnohospodárskej pôdy.

---

Prostredníctvom sekvestrácie uhlíka prispievajú agroekosystémy k regulácii klímy. Najväčšia koncentrácia zásob organického uhlíka je v pôde do hĺbky 30 cm (BARANČÍKOVÁ *et al.*, 2011).

Kapacitu ekosystémov poskytovať kultúrne (rekreačné) služby ovplyvňuje jedinečnosť danej lokality, jej dostupnosť ako aj okolitá infraštruktúra (MAKOVNÍKOVÁ *et al.*, 2017). Agroekosystém poskytovaním kultúrnych služieb môže výrazne prispievať k ekonomickej stabilite a prosperite konkrétneho regiónu napríklad využívaním pôd s nízkou produkčnou schopnosťou aj na rekreačné účely. Cieľom nášho príspevku je kvantifikovať a zmapovať agroekosystémové služby na regionálnej úrovni a vyhodnotiť potenciál pre zásobovacie, regulačné a kultúrne agroekosystémové služby.

## MATERIÁL A METÓDY

Na základe biofyzikálnych údajov v kombinácii s údajmi o využívaní krajiny sme vytvorili mapovacie jednotky pre potreby analýzy a hodnotenia potenciálu agroekosystémových služieb. Mapovacími jednotkami sa stala vrstva funkčných agregovaných jednotiek (FASU) ako kombinácia digitálnych vrstiev o sklonitosti reliéfu, využívaní pozemku, klimatických regiónov a textúry pôdy (MAKOVNÍKOVÁ *et al.*, 2017) vytvorená s použitím nástrojov GIS (Obr. 1). Kombináciou týchto vrstiev vznikla rastrová vrstva s rozlíšením 100 m s počtom 100 kategórií. Táto unikátna vrstva FASU (MAKOVNÍKOVÁ *et al.*, 2017) je kompatibilná s priestorovými jednotkami v medzinárodne používanej databáze Corine Land Cover.

Spracovanie vstupných vrstiev, ich kombinácia, modelovanie a štatistické vyhodnotenie agroekosystémových služieb ako aj mapové výstupy prebehli v GIS ArcGIS for Desktop Advanced v. 10.3.

**Obr. 1** Mapovacie jednotky



Základom pre analýzu potenciálu zásobovacích agroekosystémových služieb je bodová hodnota (BH) produkčného potenciálu založená na typologickej a výrobnjej klasifikácii poľnohospodárskej pôdy Slovenska. Bodová hodnota je základom pre racionalizáciu a ekologické využívanie prírodných zdrojov určitej územnej jednotky a jej hodnota na Slovensku sa pohybuje od 0 do 100 (DŽATKO, 2012). Potenciál zásobovacích služieb agroekosystému sme hodnotili v piatich kategóriách (1 – veľmi nízky potenciál, 2 – nízky, 3 – stredný, 4 – vysoký, 5 – veľmi vysoký potenciál, rozsah hodnôt jednotlivých kategórií je bližšie uvedený v publikácii MAKOVNÍKOVÁ, 2017) (Tab. 1). Bol vypočítaný ako vážený priemer bodových hodnôt produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd pre gridy, ktoré spadali do okresu Banská Bystrica.

Pri potenciáli regulácie odnosu pôdy sa vychádzalo z modelu USLE (WISCHMEIER -SMITH, 1978). Pomocou neho sme vypočítali potenciálnu stratu pôdy a porovnaním s prípustnou stratou pôdy v okrese Banská Bystrica sme vyhodnotili potenciál regulácie straty pôdy. Výsledné hodnoty boli začlenené do piatich kategórií.

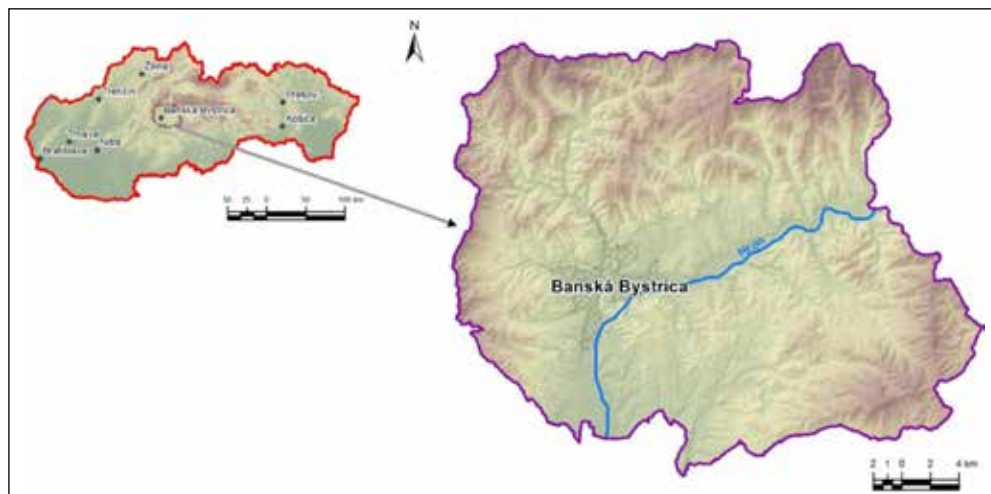
Ekosystémy poľnohospodárskych pôd prispievajú k regulácii klímy sekvestráciou organického uhlíka v pôde. Potenciál regulácie klímy sme hodnotili cez zásoby pôdneho organického uhlíka (BARANČÍKOVÁ *et al.*, 2011) v hĺbke 0–30 cm v 5 kategóriách.

Reguláciu vodného režimu resp. potenciál regulácie vodného režimu (akumulácie vody) v pôde sme modelovali a hodnotili cez retenčnú vodnú kapacitu, ktorá patrí k základným hydrofyzikálnym charakteristikám pôdy. Rovnako ako v prípade ostatných agroekosystémových služieb sme ju začlenili do 5 kategórií.

Pre potenciál filtrácie anorganických polutantov v pôde sme využili ratingové hodnotenie indikátora kontaminácie a sorpčného potenciálu pôd (MAKOVNÍKOVÁ *et al.*, 2007). Výsledné hodnoty boli začlenené do piatich kategórií.

Predpokladáme, že každý agroekosystém má potenciál (kapacitu) na vykonávanie vonkajšej rekreácie, predovšetkým viazaním na prírodné zdroje. Všetky agroekosystémy sa považujú za potenciálnych poskytovateľov týchto služieb. Z rekreačných služieb agroekosystémov banskobystrického okresu sme hodnotili potenciál pre pešiu turistiku, cykloturistiku a bežecké lyžovanie. Okrem atribútov, ktoré sme využívali pri vymapovaní FASU, sme pri analýze potenciálu kultúrnych agroekosystémových služieb brali do úvahy ešte nadmorskú výšku, sklon, prítomnosť chráneného územia, klimatickú oblasť a vzdialenosť od ciest. Pre analýzu a hodnotenie prírodných predpokladov na rekreáciu v poľnohospodárskych oblastiach sme využili model RegMod (MAKOVNÍKOVÁ *et al.*, 2016). Tento model je doplnený územnou kvantifikáciou oblastí NATURA 2000, ktoré zvyšujú atraktivitu hodnoteného územia.

**Obr. 2** Poloha banskobystrického okresu v rámci Slovenska



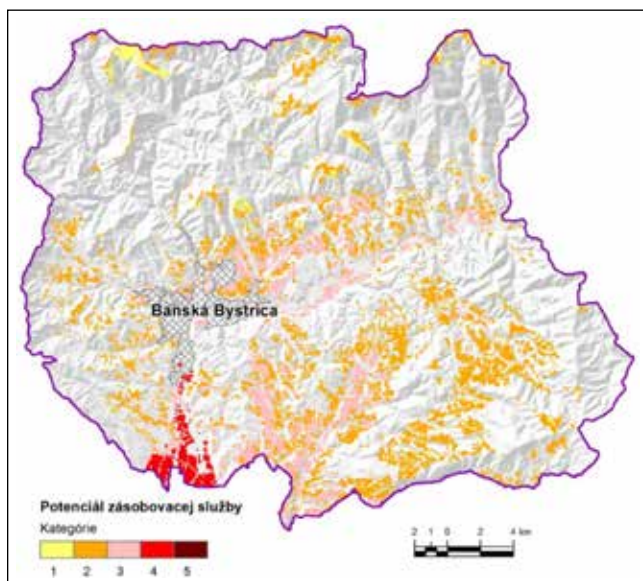
Okres Banská Bystrica sa rozprestiera v centrálnej časti Slovenska (Obr. 2). Má rozlohu 809,43 km<sup>2</sup>, žije tu 110 931 obyvateľov. Podľa údajov zo systému evidencie poľnohospodárskej pôdy LPIS z roku 2015 je výmera orných pôd v okrese Banská Bystrica 194 149 ha, čo predstavuje 13,60% podiel z celkovej výmery orných pôd Slovenska. Trvalé trávne porasty v okrese Banská Bystrica tvoria 26,30% z celkovej výmery trávnych porastov Slovenska o výmere 141 352 ha.

Z hľadiska využitia poľnohospodárskej pôdy prevažujú v Banskobystrickom okrese orné pôdy. Z pôdných typov prevažujú kambizeme, ktoré tvoria až 60% a rendziny takmer 21% z celkovej výmery poľnohospodárskych pôd (SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, 2014). Zrnitostne sú to prevažne stredne ťažké pôdy s vysokým obsahom skeletu. Nadmorská výška sa pohybuje od 300 m n.m. v južnej časti okresu až po 1 750 m n.m. v jeho severnej časti.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

V Banskobystrickom okrese majú poľnohospodárske pôdy celkovo nízky potenciál zásobovacej agroekosystémovej služby (Obr. 3). Orné pôdy majú stredný potenciál a trvalé trávne porasty nízky (Tab. 1). Hlavným limitujúcim faktorom je chladná klíma ako aj nižšia kvalita pôdy, vyšším obsahom skeletu a nižšou kvalitou humusu.

**Obr. 3** Potenciál zásobovacej služby poľnohospodársky využívaných pôd



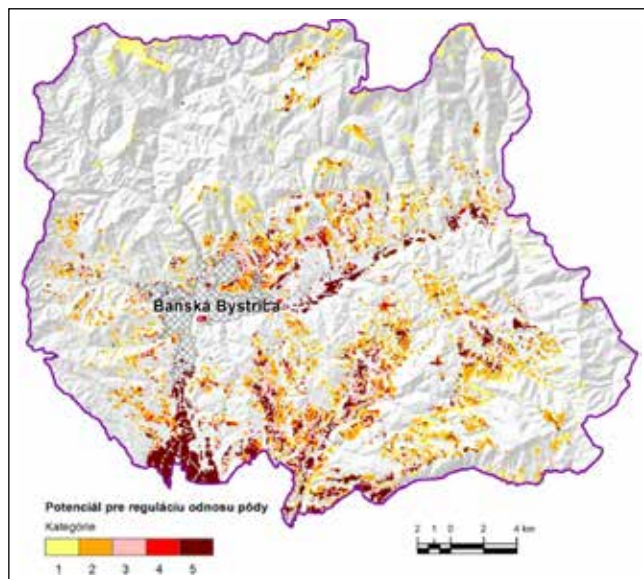
Celkovo je potenciál poľnohospodárskych pôd regulovať odnos pôdy v okrese Banská Bystrica nízky až veľmi nízky (Tab. 1). Naproti tomu orné pôdy vykazujú viac ako na polovici územia veľmi vysoký potenciál redukovať stratu pôdy vodnou eróziou, čo spôsobuje v prvom rade ich lokalizácia, prevažne na nížinách a rovinatých pozemkoch na čo nadväzujú prevažne hlboké pôdy, kde je prípustná strata pôdy vyššia (Obr. 4). Trvalé trávne porasty výrazne redukujú vznik

a priebeh erózie pôdy, takže poskytujú výbornú protieróznú ochranu. Ale keď nezohľadníme vegetačný kryt (uvažujeme o potenciáli) a zoberieme do úvahy umiestnenie zatravnovaných agroekosystémov v banskobystrickom okrese najmä na svahovitejších pozemkoch s plytšou pôdou, tento fakt spôsobí pokles potenciálu regulácie straty pôdy do nízkej až veľmi nízkej kategórie.

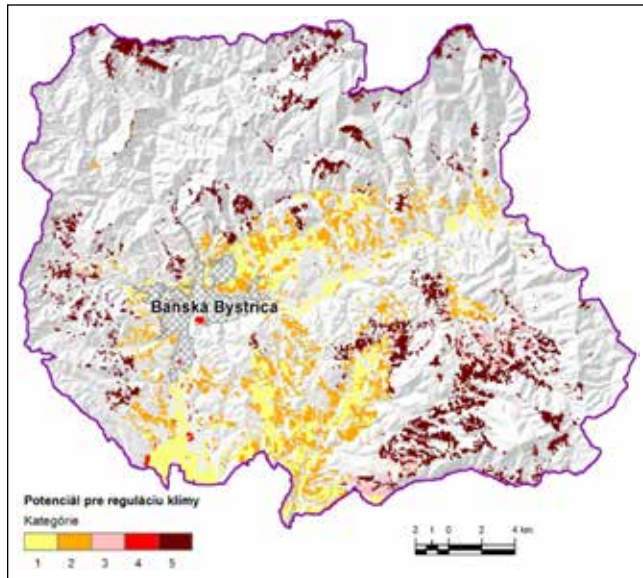
**Tab. 1** Zastúpenie kategórií potenciálu agroekosystémových služieb (v % plochy poľnohospodársky využívaných pôd)

Potenciál agroekosystémových služieb (v % plochy poľnohospodársky využívaných pôd)		Kategórie				
		Veľmi nízky	Nízky	Stredný	Vysoký	Veľmi vysoký
Zásobovacia služba		4,21	64,04	27,47	4,28	0,00
Regulačné služby	Regulácia straty pôdy	24,72	36,16	11,74	5,06	22,22
	Regulácia klímy	25,36	33,30	4,12	0,76	36,47
	Regulácia vodného režimu	42,79	41,52	6,41	4,67	4,61
	Imobilizácia rizikových prvkov	2,55	88,94	8,51	0,00	0,00
Prírodné predpoklady pre rekreáciu		3,64	23,07	25,67	44,71	2,91

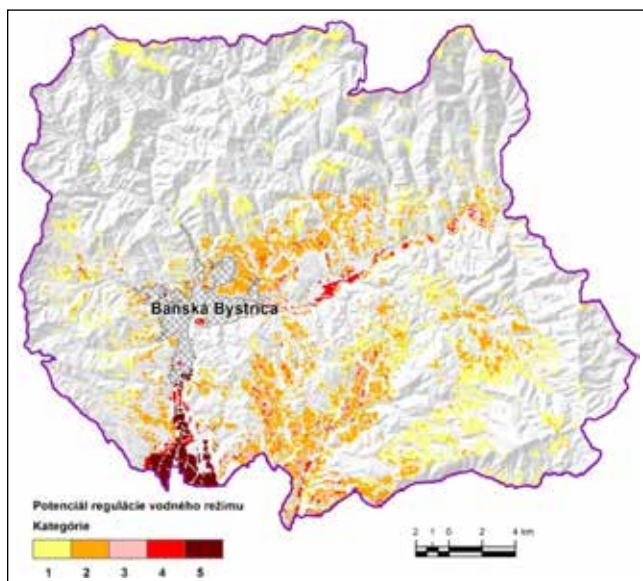
**Obr. 4** Potenciál pre reguláciu odnosu pôdy



Pre poľnohospodárske pôdy v okrese Banská Bystrica je potenciál regulácie klímy vyvážený (Tab. 1). V prípade orných pôd prevažuje veľmi nízky až stredný. Pri trávnych porastoch je potenciál regulácie klímy veľmi vysoký až vysoký. Úroveň potenciálu regulácie klímy koreluje s nadmorskou výškou (Obr. 5).

**Obr. 5** Potenciál pre reguláciu klímy

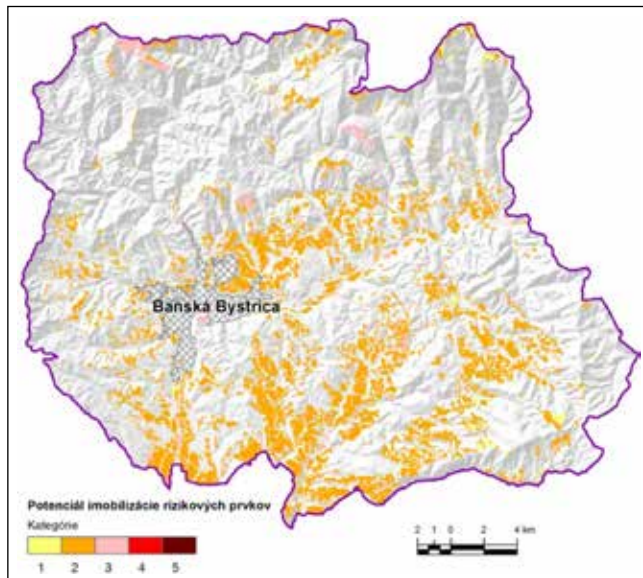
Potenciál regulácie vodného režimu vykazuje v banskobystrickom okrese veľmi nízke až nízke hodnoty (83 % z celkovej výmery poľnohospodárskych pôd) (Tab. 1). Pri orných pôdach prevažuje nízky až stredný potenciál, čo spôsobujú prevažne stredne hlboké a stredne ťažké pôdy s prítomnosťou skeletu (Obr. 6). Agroekosystémy trvalých trávnych porastov majú vyššiu schopnosť zadržiavať vodu.

**Obr. 6** Potenciál pre reguláciu vodného režimu

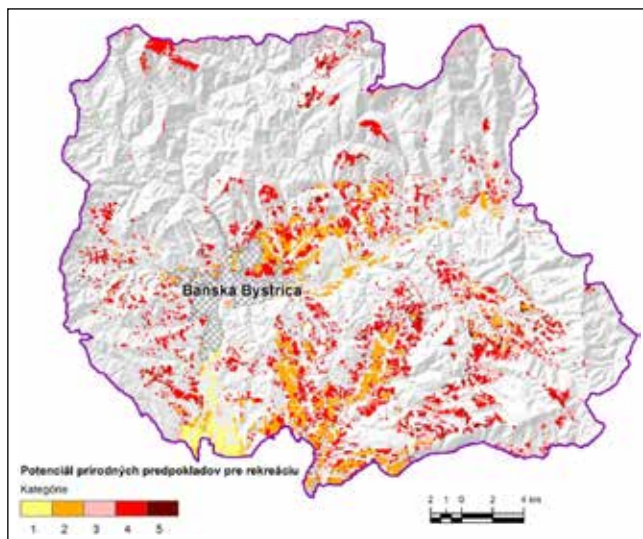


Poľnohospodárske pôdy okresu Banská Bystrica majú z pohľadu imobilizácie rizikových prvkov ako regulačnej služby agroekosystémov nízky potenciál imobilizácie rizikových prvkov (Obr. 7). Nízky potenciál ovplyvňuje prevaha plošného zastúpenia kambizemí, v kombinácii s hodnotou kyslej pôdnej reakcie a vyšším obsahom skeletu v celom pôdnom profile.

**Obr. 7** Potenciál pre imobilizáciu rizikových prvkov



**Obr. 8** Potenciál prírodných predpokladov pre rekreáciu



Celkové prírodné predpoklady pre rekreáciu v okrese Banská Bystrica sú vysoké (Obr. 8). Potvrzuje to aj potenciál agroekosystémov poskytovať kultúrne služby (Tab. 1). V prípade eko-

systému orných pôd je potenciál prírodných daností pre rekreáciu nižší v porovnaní s potenciálom trvalých trávnych porastov. Vyšší potenciál pre pešiu turistiku, cykloturistiku aj bežecké lyžovanie majú ekosystémy vo vyšších nadmorských výškach, v chladnejšej klíme, lokalizované v blízkosti chránených území NATURA 2000 a v blízkosti lesa.

## ZÁVER

Veľká časť agroekosystémov v okrese Banská Bystrica patrí do kategórie nízkeho a stredného potenciálu zásobovacích a regulačných agroekosystémových služieb. Potenciál prírodných podmienok pre rekreáciu je celkovo vysoký predovšetkým v zatravnovaných agroekosystémoch a v blízkosti chránených území NATURA 2000.

Koncept analýzy a hodnotenia potenciálov agroekosystémových služieb, poskytuje usmernenia a ukazuje limity pre riadenie rozvoja v oblasti manažmentu poľnohospodárskej krajiny a zmien využívania pôdy na miestnej a regionálnej úrovni. Kvalitatívna a kvantitatívna analýza a hodnotenie agroekosystému spojeného s priestorovou vizualizáciou na požadovanej úrovni je dôležitým nástrojom ochrany agroekosystémov a ich udržateľného využívania.

## Podakovanie

Príspevok vznikol za podpory projektu APVV-0098 – 12: *Analýza, modelovanie a hodnotenie agroekosystémových služieb*

## LITERATÚRA

- BARANČÍKOVÁ G. – GUTTEKOVÁ, M. – HALAS, J. – KOCO, Š. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – NOVÁKOVÁ, M. – SKALSKÝ, R. – TARASOVIČOVÁ, Z. – VILČEK, J. 2011. *Pôdny organický uhlík v poľnohospodárskej krajine – modelovanie zmien v priestore a čase*. Bratislava: Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, 2011, 85 str. ISBN 978-80-89128-86-0
- BUJNOVSKÝ, R. – VILČEK, J. – BLAAS, G. – SKALSKÝ, R. – BARANČÍKOVÁ, G. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – BALKOVIČ, J. – PÁLKA, B. 2011. *Hodnotenie kapacít pôdy a efektov z jej využívania*. Bratislava: Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, 2011, 70 str. ISBN 978-80-89128-83-9.
- COSTANZA, R. 2008. *Ecosystem services: multiple classification systems are needed*. *Biological Conservation*, 141: 350 – 352.
- DOMINATI, E. – PATTERSON, M. – MACKAY, A. 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69, pp.1858 – 1868.
- DOMINATI E., 2013. Natural capital and ecosystem services of soils. In Dymond J.R. ed. *Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand.
- DŽATKO, M. 2002. *Hodnotenie produkčného potenciálu poľnohospodárskych pôd a pôdno-ekologických regiónov Slovenska*. VÚPOP, Bratislava, 87 s.
- MAKOVNÍKOVÁ, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – PÁLKA, B. 2007. Approach to the assessment of transport risk of inorganic pollutants based on the immobilisation capability of soil. *Plant, Soil and Environment*, 53, pp. 365 – 373.
- MAKOVNÍKOVÁ J. – KOBZA J. – PÁLKA B. – MALIŠ J. – KANIANSKA R. – KIZEKOVÁ M. 2016. An approach to mapping the potential of cultural agroecosystem services, *Soil & Water Res.*, 11 (2016): 44 – 52
- MAKOVNÍKOVÁ, J. – PÁLKA, B. – ŠIRÁŇ, M. – KANIANSKA, R. – KIZEKOVÁ, M. – JAĎUĎOVÁ, J. 2017. *Modeling and evaluation agroecosystem services*. Banská Bystrica: Belianum, 2017, 150 p.
-

- POWER, A.G. 2010. Ecosystem services and agriculture: trade-offs and synergies. *Philos. Trans. Roy. Soc. B* 365, 2959–2971. doi: 10.1098/rstb.2010.0143
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie. Bratislava: NPPC - VÚPOP, 2014, 96p. ISBN: 978-80-8163-005-7
- STYK, J. – PÁLKA, B. 2005. Potenciálna ohrozenosť poľnohospodárskych pôd SR vodnou eróziou vyhodnotená využitím empirického modelu USLE. In *Zborník prednášok. VII. zjazd Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV. Pedologická sekcia*, Bratislava: Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, 2005, s. 73 – 77.
- VAN OUDENHOVEN, A.P.E. – PETZ, K. – ALKEMADE, R. – DEGROOT, R.S. – HEIN, L. 2012. Indicators for assessing effects of management on ecosystem services. *Ecological Indicators* 21, 110–122.
- WISCHMEIER, W.H. – SMITH, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: Guide to conservation planning. *Agricultural Handbook* No 537, USDA, 1978, 58 s.
-

# SÚČASNÝ STAV OCHRANY BORIEVKY OBYČAJNEJ V CHRÁNENOM ÚZEMÍ DEVÍNSKEJ KOBYLY A POTREBA JEJ PREHODNOTENIA

## THE CURRENT STATE OF COMMON JUNIPER CONSERVATION IN THE DEVÍNSKA KOBYLA PROTECTED AREA AND THE NEED FOR ITS REEVALUATION

**Eva Pekárová, Michal Sviček**

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy  
Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, e-mail: e.pekarova@vupop.sk*

### ABSTRAKT

Príspevok sa zaoberá zhodnotením úrovne ochrany borievky obyčajnej (*Juniperus communis L.*) v podmienkach chráneného územia Devínska Kobyla. V prvom kroku bola pozornosť venovaná stručnému zhodnoteniu výskytu borievky obyčajnej na tomto území a doterajšiemu manažmentu tohto územia. Následne bola posúdená ochrana borievky obyčajnej v súvislosti s národnou legislatívou ako aj zaradenie chráneného územia v rámci medzinárodných štandardov – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), od ktorého sa odvíja jej praktická ochrana. Výsledky analýzy výskytu borievky obyčajnej v Národnej prírodnej rezervácii Devínska Kobyla a hodnotenie úrovne jej ochrany poukazujú na potrebu zmien prístupov k ochrane a manažmentu chránených území na Slovensku. Zlepšenie systému ochrany si v prvom rade vyžaduje zmenu legislatívy v oblasti ochrany prírody a krajiny, v ktorej kľúčovou zmenou by mala byť implementácia definície medzinárodných štandardov podľa IUCN. Pri vyhlasovaní resp. prehodnocovaní chráneného územia Devínska Kobyla je potrebné stanoviť nielen primárne ale aj sekundárne ciele ochrany. Zaradenie tohto územia do manažmentových kategórií chránených území podľa IUCN by sa malo premietnuť do ďalšej starostlivosti o územie prostredníctvom takých aktivít a projektov, v ktorých smerovanie manažmentu bude spĺňať ochranu pre danú kategóriu chráneného územia s tým, že ochrana borievky obyčajnej bude jasne deklarovaná.

**Kľúčové slová:** borievka obyčajná, chránené územia, manažmentové kategórie

### ABSTRACT

The contribution deals with the assessment of the protection level of *Juniperus communis L.* in the conditions of the Devínska Kobyla protected area. In the first step, attention was paid to the brief assessment of the occurrence of common juniper in this territory and to the

---

current management of this area. Subsequently, the protection of common juniper has been assessed in connection with national legislation as well as the inclusion of protected areas within the framework of international standards – International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), on which its practical protection is based. The results of the analysis of the occurrence of common juniper in the Devínska Kobyla protected area and the assessment of the level of its protection indicate the need for changes in approaches to the protection and management of protected areas in Slovakia. Improving the protection system in the first place requires a change in legislation in the field of nature and landscape, in which the key change should be the implementation of international standards defined by IUCN. When declaring or re-evaluating the Devínska Kobyla protected area, it is necessary to set not only primary but also secondary protection objectives. Inclusion of that territory into the categories of management of protected areas by IUCN should be reflected in the next care area through such activities and projects, in which the management direction will meet the protection for a given category of protected area, with the protection of common juniper being clearly declared.

**Keywords:** common juniper, protected areas, categories of management

## ÚVOD

Manažment chránených území a ich ochrana, primárne zakotvené v legislatívnych predpisoch, bezprostredne ovplyvňuje stav chránených území na Slovensku. Jedným z nich je aj chránené územie Devínska Kobyla.

Systém manažmentu chránených území s osobitnými a vzácnymi hodnotami flóry a fauny vychádza zo zákona NR SR č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny v znení neskorších predpisov, pričom stanovuje aj podmienky ochrany vybraných území. Nadväzujúcim národným dokumentom je vyhláška č. 24/2003 MŽP SR, ktorou sa v praxi vykonáva zákon č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny. Uvedené legislatívne dokumenty tvoria základný národný rámec pre ochranu najohrozenejších druhov a biotopov a čoraz výraznejšie sa využívajú v rámci ekosystémových služieb. Chránené územia môžu mať rozmanitú podobu, t.j. od prísne chránených území až po rôzne typy tradične obhospodarovanej krajiny, ktorú do dnešnej podoby sformoval človek a ktorá zároveň zabezpečuje vysokú mieru biodiverzity. Spôsob manažmentu vyplýva z účelu vyhlásenia lokality za chránené územie z cieľov, ktoré daná lokalita plní v rámci sústavy chránených území a z toho vyplývajúcich manažmentových cieľov. Z pohľadu praktického manažmentu ide o určitý režim ochrany, ktorý by mal zabezpečiť trvalo udržateľné využívanie chráneného územia.

Podobne, ako v prípade ochrany iných druhov drevín (KUČERA, 2017), z pohľadu reálnej ochrany borievky obyčajnej (*Juniperus communis* L.) v podmienkach chráneného územia Devínska Kobyla však nemôžeme byť spokojní. Cieľom príspevku je zhodnotenie súčasného stavu ochrany borievky obyčajnej v podmienkach chráneného územia Devínska Kobyla.

---

## MATERIÁL A METÓDY

Devínska Kobyla patrí vďaka svojej výhodnej geografickej polohe a dobrým klimatickým podmienkam k najdlhšie osídleným lokalitám na Slovensku. Územie európskeho významu Devínska Kobyla je súčasťou chránenej krajinnnej oblasti Malé Karpaty a zároveň patrí do sústavy chránených území členských krajín Európskej únie NATURA 2000. Súčasťou územia je aj Národná rezervácia Devínska Kobyla vyhlásená v roku 1964 (Tab.1) na účely ochrany najjužnejšieho výbežku Malých Karpát. Geologický podklad je veľmi bohatý, pričom najvýraznejší masív je tvorený z karbonátových hornín ([www.sopsr.sk](http://www.sopsr.sk)).

V prvom kroku je pozornosť venovaná stručnému zhodnoteniu výskytu borievky obyčajnej na tomto území a doterajšiemu manažmentu obhospodarovania tohto územia. Do analýzy hromadného výskytu borievky obyčajnej v podmienkach Slovenska bolo zahrnuté aj chránené územie Devínska Kobyla. V rámci analýzy bol vykonaný popis lokalít, identifikácia borievkových porastov a samotných borievok. Súčasťou analýzy výskytu borievok bolo aj vymedzenie negatívnych faktorov - abiotické, biotické a antropogénne činitele, ktoré ovplyvňujú kvantifikáciu a kvalitu samotnej borievky obyčajnej. Metodický postup na zhodnotenie lokalít hromadného výskytu borievky obyčajnej bol spracovaný Národným lesníckym centrom, ako súčasť projektu „Výskum možnosti pestovania borievky /Juniperus communis L./ na produkciu plodov“ (JANKOVIČ *et al.*, 2015).

V nadväznosti na vyššie uvedenú analýzu výskytu borievky v druhom kroku bola zhodnotená úroveň ochrany borievky obyčajnej s ohľadom na súčasne platné legislatívne opatrenia, ktoré vymedzujú spôsob obhospodarovania uvedeného územia. Z pohľadu legislatívneho procesu spočíva metodológia na prehodnotení manažmentu územia z pohľadu národnej a medzinárodnej legislatívy. Následne je posúdená ochrana borievky obyčajnej v súvislosti s národnou legislatívou ako aj zaradenie chráneného územia v rámci medzinárodných štandardov - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources – IUCN, resp. pridelovanie manažmentových kategórií (KADLEČÍK, ed., 2014), od ktorého sa odvíja jeho praktická ochrana.

**Tabuľka 1** Identifikácia NPR Devínska Kobyla

Národná prírodná rezervácia Devínska Kobyla	
<b>Rok vyhlásenia:</b>	1964 – Chránené nálezisko Sanberg (25,60 ha)
	1965 – Štátna prírodná rezervácia Devínska Kobyla (27,97 ha)
	1986 – Štátna prírodná rezervácia Devínska Kobyla (102,00 ha)
	1995 – Národná prírodná rezervácia Devínska Kobyla (102,00 ha)
<b>Vymedzenie:</b>	Odlesnené južné až západné svahy masívu Devínskej Kobyly medzi Devínom a Devínskou Novou Vsou.
	Maximálna dĺžka chráneného územia 2 880 m, maximálna šírka územia 825 m (v časti Merice).
	Nadmorská výška 138 – 311 m.

<b>Dôvod ochrany:</b>	Z prírodovedného hľadiska významné územie s bohatou teplomilnou flórou a faunou v najjužnejšom vápencovom výbežku Malých Karpát
	Svetoznáma geologická a paleontologická lokalita Sandberg s výskytom zriedkavých zástupcov pieskomilnej kveteny
	Jedna z najznámejších lokalít výskytu druhov čelade vstavačovitých rastlín na Slovensku.
<b>Podmienky ochrany:</b>	Najvyšší stupeň ochrany prírody a krajiny podľa § 17 ods. 3 zákona NR SR č. 287/1994 Z.z. o ochrane prírody a krajiny.
	Na území prírodnej rezervácie je zakázané pohybovať sa mimo značkových chodníkov, zakladať oheň, fajčiť, táboriť, stanovať, rušiť pokoj a ticho, zbierať rastliny, živočíchy, nerasty a skameneliny.
Zdroj: Štátny zoznam osobitne chránených častí prírody SR, www.enviroportal.sk	

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Výskyt borievky obyčajnej na území chráneného územia Devínska Kobyla a doterajší manažment tohto územia

Dnešnú podobu nelesnej drevinovej vegetácie na Devínskej Kobyle ovplyvnili mnohé historické udalosti, ktoré podnietili aj vznik nových vegetačných štruktúr. Pôvodnú vegetáciu tvorili dubovo-hrabové lesy na vápencovom podklade, xerothermné dúbavy s dubom plstnatým

**Obr. 1** Identifikácia lokality výskytu borievky obyčajnej na Devínskej Kobyle



(*Quercus pubescens* Willd.) a floristicky bohatými trávnatými a skalnými spoločenstvami, ktoré sa čiastočne zachovali, a po vyrúbaní lesných porastov rozšírili napriek ďalším antropickým zásahom. V krajine s dlhou tradíciou poľnohospodárstva a pastierstva bola súčasťou súčasnej podoba lúk a pasienkov na rozhraní lesa menená po stáročia. Na úpäť svahov predstavovala zmena kultúr v minulosti výsadbu viníc, ovocných sádov a obhospodarovaných trvalých trávnych porastov, ktoré boli udržiavané kosením, vypaľovaním a predovšetkým pasením oviec, kôz a hovädzieho dobytku (Hegedúšová *et al.*, 2010).

Táto forma obhospodarovania lúk a pasienkov vytvárala ideálne podmienky pre šírenie borievky obyčajnej (spontánnym náletom) a zároveň prispela k vzniku vzácnych biotopov

európskeho významu. V polovici minulého storočia však pastva pozvoľne zanikala a dnes môžeme konštatovať, že lúky, pasienky a skalné biotopy Devínskej Kobly tvoria približne 6 % plochy, na ktorej sa borievka obyčajná ešte nachádza (Obr. 1).

Absencia tradičného obhospodarovania odlesnených svahov Devínskej Kobly sa v 90. rokoch prejavila úspešnými zmenami. Výrazne sa zhoršil stav populácie chránených druhov a ich spoločenstiev, čo viedlo k prehodnocovaniu metód ochrany územia formou riadeného manažmentu smerujúci k zmene vegetácie (SENKO *et al.*, 2008).

Borievka obyčajná (*Juniperus communis L.*) je viazaná na stabilné stanovištné podmienky a nepatrí medzi adaptabilné druhy prispôsobujúce sa narušeným podmienkam. Zároveň ju môžeme zaradiť medzi ľahko zraniteľné druhy s nízkou reprodukčnou schopnosťou z dôvodu tvorenia plodov iba na samičích jedincoch. V prípade vzniku odlišného stanovišťa od pôvodného vplyvom sukcesie a vznikom nových konkurentov (invázne druhy drevín) dochádza k jej výraznému potláčaniu, následne úbytku, či zániku. Jej prirodzenými lokalitami výskytu na Devínskej Kobyle sú predovšetkým strmé svahy so sklonom nad 20° so slabo rozčlenenými krátkymi dolinami. Jej stanovišťa sú úpätia svahov bývalých vinogradov, ovocných sádov a pasienkov približne do 350 m n. m., hlavne južne a juhozápadne exponovaných, ktorých porastové zloženie tvoria v súčasnosti teplomilné a zároveň vápnomilné rastliny (Pekárová *et al.*, 2016, 2017).

Z výsledkov analýzy výskytu borievky obyčajnej v podmienkach chráneného územia Devínska Kobyla (tabuľka 2), ktorá bola identifikovaná ako lokalita hromadného výskytu tejto dreviny v podmienkach Slovenska, možno konštatovať 50% pokles celkového počtu jedincov v roku 2017 v porovnaní s rokom 2015. Uvedené bolo sprevádzané predovšetkým výrazným znižovaním počtu mladých jedincov na lokalite, ktoré bolo zredukované z 30 % v roku 2015 na 0 % v roku 2017. Na základe zistenia významného poklesu výskytu borievky v chránenom území Devínska Kobyla sa pristúpilo k zhodnoteniu úrovne jej ochrany.

**Tab. 2** Analýza borievkových porastov na Devínskej Kobyle v rokoch 2015 – 2017

Analýza borievkových porastov v roku 2015 (v %)	
<b>Hustota porastov</b>	vzdialenosť krov od seba 3 – 5 m
<b>Vek borievok</b>	30 % mladina, 40 % dospelé jedince, 30 % staré jedince
<b>Výška borievok</b>	30 % do 0,50 m, 40 % do 2 m, 30 % nad 2 m
<b>Priemer kríkov</b>	10 % do 0,50 m, 60 % do 1,50 m, 30 % nad 1,50 m
<b>Pomer samičích a samčích jedincov</b>	30 % samčích a 70 % samičích jedincov
<b>Forma zmiešania výskytu</b>	20 % jednotlivá, 30 % hlučikovitá, 50 % skupinkovitá
<b>Tvarové formy borievok</b>	10% stĺpovité, 15% kuželovité, 10% guľovité, 55% rozložité, 10% poliehavé
<b>Hustota koruny</b>	30 % hustá - kompaktná, 20 % stredne kompaktná, 50 % riedka - nekompaktná
<b>Tvar plodov</b>	90 % okrúhle, 10 % podlhovasté
<b>Najvýraznejšie negatívne vplyvy</b>	poškodenie borievok vplyvom pasenia kôz, mechanické poškodenie mladých borievok nešetrným výrubom borovice čiernej



<b>Analýza borievkových porastov v roku 2016 (v %)</b>	
<b>Hustota porastov</b>	vzdialenosť krov od seba 5 – 20 m
<b>Vek borievok</b>	10 % mladina, 30 % dospelé jedince, 30 % staré jedince
<b>Výška borievok</b>	10 % do 0,50 m, 30 % do 2 m, 30 % nad 2 m
<b>Priemer kríkov</b>	10 % do 0,50 m, 30 % do 1,50 m, 30 % nad 1,50 m
<b>Pomer samičích a samčích jedincov</b>	20 % samičích a 30 % samičích jedincov, 20 % neidentifikovateľné
<b>Forma zmiešania výskytu</b>	30 % jednotlivá, 20 % hlučikovitá, 20 % skupinkovitá
<b>Tvarové formy borievok</b>	20 % stĺpovité, 20 % kužeľovité, 0 % guľovité, 20 % rozložené, 10 % poliehavé
<b>Hustota koruny</b>	10 % hustá - kompaktná, 20 % stredne kompaktná, 40 % riedka - nekompaktná
<b>Tvar plodov</b>	60 % okrúhle, 10 % podlhovasté
<b>Najvýraznejšie negatívne vplyvy</b>	poškodenie porastu vplyvom pasenia kôz, výstavbou oplotenia mechanické poškodenie borievok, úbytok borievky obyčajnej o 30 %
<b>Analýza borievkových porastov v roku 2017 (v %)</b>	
<b>Hustota porastov</b>	vzdialenosť krov od seba – neidentifikovateľná
<b>Vek borievok</b>	0 % mladina, 20 % dospelé jedince, 30 % staré jedince
<b>Výška borievok</b>	0 % do 0,50 m, 20 % do 2 m, 30 % nad 2 m
<b>Priemer kríkov</b>	0 % do 0,50 m, 20 % do 1,50 m, 30 % nad 1,50 m
<b>Pomer samičích a samčích jedincov</b>	20 % samičích a 20 % samičích jedincov, 10 % neidentifikovateľné
<b>Forma zmiešania výskytu</b>	30 % Jednotlivá, 10 % hlučikovitá, 10 % skupinkovitá
<b>Tvarové formy borievok</b>	20 % stĺpovité, 20 % kužeľovité, 0 % guľovité, 10 % rozložené, 0 % poliehavé
<b>Hustota koruny</b>	0 % hustá - kompaktná, 10 % stredne kompaktná, 40 % riedka - nekompaktná
<b>Tvar plodov</b>	50 % okrúhle, 0 % podlhovasté
<b>Najvýraznejšie negatívne vplyvy</b>	devastácia a úhyn borievok vplyvom pasenia kôz, spásaním rastlinného krytu výrazná erózia pôdy, úbytok borievky obyčajnej o 50 %

### **Zhodnotenie ochrany borievky obyčajnej na národnej úrovni**

Zákon NR SR č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny sa vyznačuje rozšírením obsahu ochrany prírody, ktorá sa vzhľadom na globálne problémy životného prostredia chápe ako súčasť starostlivosti o krajinu. Zákon upravuje pôsobnosť orgánov štátnej správy a obcí, ako aj práva a povinnosti právnických osôb a fyzických osôb pri ochrane prírody a krajiny s cieľom prispieť k zachovaniu rozmanitosti flóry a fauny. Vytvára podmienky na trvalé udržanie, obnovenie a racionálne využívanie prírodných zdrojov, záchranu prírodného dedičstva, charakteristického vzhľadu krajiny a na dosiahnutie a udržanie ekologickej stability. Súčasťou zákona sú aj kategórie chránených území, vrátane zavedenia nových pojmov, napríklad ochrana biotopov, priaznivý stav druhu a biotopu.

V zmysle zákona NR SR č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny je Devínska Kobyla

zaradená medzi územia európskeho významu na ochranu biotopov a druhov európskeho významu v rámci siete Natura 2000 v Malých Karpatoch (Príloha 1, Zoznam území Európskeho významu, kód lokality SKUEV0280) s výmerou 649,26 ha.

V rámci Vyhlášky č. 24/2003 MŽP SR, ktorou sa vykonáva zákon č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny sa v prílohe č. 4, t.j. v „Zozname druhov európskeho významu a druhov národného významu“ borievka obyčajná (*Juniperus communis* L.) **nenachádza**, registrovaná je iba borievka netátová (*Juniperus sabina* L.). V tejto súvislosti je potrebné poznamenať, že borievka obyčajná (*Juniperus communis* L.) 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., 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).

Porasty borievky obyčajnej (kód Kr2) sa síce nachádzajú v „Zozname biotopov európskeho významu“, ale v rámci manažmentových kategórií IUCN boli Malé Karpaty zaradené do kategórie „V“ s nižšou ochranou, v ktorej zachovanie druhov a biotopov nie je špecifikované. Pre praktický manažment to znamená, že borievka obyčajná už nemusí byť predmetom ochrany na Devínskej Kobyle. Príprava projektu pasenia kôz mala pozitívne nastavený cieľ korešpondujúci s kategóriou „V“, ale nedostatočná legislatívna ochrana borievky obyčajnej je dôsledkom jej devastácie a zároveň ubúdania tohto významného druhu.

V rámci praktickej starostlivosti o osobitne chránené časti tejto lokality vykonáva Štátna ochrana prírody regulačné zásahy, predovšetkým výrubu náletových drevín, kosenie, odstraňovanie biomasy, oplotenie a odstraňovanie invázných druhov. Podľa informácií k plánovaným manažmentovým zásahom v rezervácii, dostupných na webstránkach DAPHNE-IAE Devínska Kobyla z roku 2015 boli cieľom výrubu predovšetkým nepôvodné druhy, napríklad agát biely (*Robinia pseudoacacia* L.), jaseň mannový (*Fraxinus ornus* L.), borovica čierna (*Pinus nigra*) a príliš tieniace dreviny. Naopak ponechané mali byť pôvodné neagresívne druhy, ako dub pľstnatý (*Quercus pubescens* Willd.), čerešňa mahalebka (*Prunus mahaleb* L., syn. *Cerasus mahaleb* L.) a drieň obyčajný (*Cornus mas* L.).

Borievka obyčajná sa tak stala obeťou súčasného „riadeného manažmentu“ a počas rokov 2016 a 2017 hromadným pasením veľkého počtu kôz bola takmer zlikvidovaná (okolie Waitovho lomu, 48°11,532's.š., 16°58,984'v.d.). Pred samotným pasením kôz nemáme informácie, či boli vykonané inventarizačné výskumy na záchranu borievky obyčajnej vyplývajúce z platnej legislatívy. Sústredenie súčasného manažmentu na odstraňovanie nelesných biotopov sa prejavilo likvidáciou mladých porastov aj iných neinvazívnych drevín. Pozorovaný bol aj výrazne rozrušený pôdny kryt, čo vedie k plošnej erózii a celkovej deštrukcii nielen zraniteľných xerotermných biotopov, ale ja ostatnej pôdnoпокryvnej vegetácie (Obrázok 2a, 2b).

**Obr. 2a** Borievka obyčajná v chránenom území Devínskej Kobly pred pasením kôz v roku 2015



**Obr. 2b** Zdevastovaná borievka obyčajná a eróziou ohrozená pôda po pasení veľkého počtu kôz v chránenom území Devínska Kobyla v roku 2017



### Zhodnotenie v rámci medzinárodnej ochrany

V súvislosti s pridelením manažmentových kategórií chránených území podľa IUCN (Kadlečík ed. 2014) a jej príslušnej metodiky (Dudley ed. 2008), výber jednotlivých kategórií vychádza z primárneho cieľa manažmentu chráneného územia. Primárny manažmentový cieľ v rámci uvedenej metodiky je v rámci Malých Karpát uplatňovaný minimálne na 75 % chráne-

---

ného územia, vrátane špecifických zón. Metodika IUCN pripúšťa, že 25 % plochy chráneného územia môže byť spravované pre iné účely, pokiaľ sú zlučiteľné s primárnym cieľom chráneného územia.

Pri aplikácii medzinárodných kategórií je prioritným krokom overenie, či chránená lokalita spĺňa definíciu chráneného územia a až následne je realizovaná voľba najvhodnejšej kategórie. Nakoľko v zákone č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny nie je definovaný pojem chránené územie, môže viesť k voľnému výkladu a k problémom pri implementácii zákona. Problém v rámci základnej definície a poslania chráneného územia sa tak môže premietiť do neodborných prístupov ochrany prírody nielen v rámci rozhodovacích orgánov, alej aj zainteresovaných strán vykonávajúcich manažment ochrany.

Podľa definície IUCN (Dudley ed. 2008) je chránené územie „jasne definovaný geografický priestor, ktorý je uznaný, špecializovaný a o ktorý je zabezpečená starostlivosť (prostredníctvom právnych alebo iných účinných prostriedkov) tak, aby bolo dlhodobo zaručené zachovanie prírody spolu so súvisiacimi ekosystémovými službami a kultúrnymi hodnotami“. Definíciu chráneného územia je potrebné chápať v kontexte s ďalšími súvisiacimi princípmi:

- IUCN uznáva za chránené územia len také, v ktorých je hlavným cieľom ochrana prírody; môžu zahŕňať aj iné územia s ďalšími cieľmi na rovnakej úrovni dôležitosti, ale v prípade stretu záujmov musí byť ochrana prírody prioritou.
- V chránených územiach je potrebné vylúčiť akékoľvek spôsoby využívania, či hospodárenia, ktoré by boli škodlivé pre ciele, ktoré viedli k ich vyhláseniu.
- Voľba kategórie chráneného územia by mala vychádzať z primárneho cieľa; tieto ciele však niekedy nie sú k príslušnej lokalite definované a je nutné ich odvodzovať z iných predpisov, zákona o ochrane prírody a ďalších legislatívnych dokumentov.
- Kategóriu je potrebné zmeniť, pokiaľ hodnotenie ukáže, že stanovené dlhodobé ciele nezodpovedajú cieľom priradených danej kategórii.
- Cieľom chránených území je spravidla udržiavať či v ideálnom prípade zvyšovať stupeň „prírodnosti“ ekosystémov, ktoré sú v území chránené.

Na základe manažmentových kategórií IUCN boli Malé Karpaty ako veľkoplošné chránené územie zaradené do kategórie „**V – chránená krajina**“. Hlavná špecifikácia tejto kategórie spočíva v ochrane tradičného systému obhospodarovania zdrojov pre zachovanie kultúrneho významu, ktorých hodnoty by mali byť spojené s „veľkými prírodnými hodnotami“. Kategória „V“ zároveň charakterizuje územie s flórou a faunou s prejavmi jedinečného alebo tradičného využívania miestnych zvykov a spôsobov obživy. Nakoľko je Devínska Kobyla súčasťou chráneného územia Malých Karpát, zavedenie tradičného pasenia kôz nie je v rozpore s legislatívnou ochranou tejto kategórie v rámci medzinárodných štandardov.

V prípade väčšieho záujmu o ochranu špecifickej lokality je možnosť zaradenia Devínskej Kobylky do manažmentovej kategórie „**IV - územie starostlivosti o biotopy/druhy**“, ktoré je charakterizované zabezpečením a udrжанím stanovištných podmienok potrebných pre ochranu a obnovu významných druhov a biotických spoločenstiev. Zaradenie Devínskej Kobylky do tejto prísnejšej kategórie by však znamenalo striktnejšiu, resp. dôslednejšiu ochranu tohto územia, vrátane borievky obyčajnej.

---

V súvislosti s manažmentovými kritériami IUCN pre vyhlásenie chránených území je kľúčovou podmienkou, aby sa na vyhlásenom území nachádzali predovšetkým ekosystémy, ktoré boli len veľmi málo alebo neboli vôbec pozmenené využívaním človekom alebo osídlením. V súvislosti s hodnotením úrovne ochrany na Devínskej Kobyle je na mieste otázka, či toto územie označené ako chránené je aj chráneným územím podľa medzinárodnej definície, nakoľko súčasný manažment v súvislosti s povolením aktivít a projektov nie je v súlade s prioritami ochrany prírody.

## ZÁVER

Chránené územia na Slovensku čelia v súčasnosti celému radu organizačných a legislatívnych problémov. Cielená a efektívna ochrana flóry, fauny a krajinných útvarov v podmienkach Slovenska je primárne záležitosťou národnej legislatívy, zahrňujúcej tak územnú ochranu v piatich druhoch ochrany ako aj druhovú ochranu. Rozhodujúcim aspektom ochrany bioty a fauny sa stáva manažment príslušného územia.

V súčasnosti platné manažmentové prístupy na národnej úrovni nekorešponujú s kategóriami chránených území na medzinárodnej úrovni stanovenými Medzinárodnou úniou pre ochranu prírody a prírodných zdrojov (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources – IUCN), čo vedie k potrebe prehodnocovania nielen chránených území, ale aj jednotlivých druhov a biotopov.

Výsledky analýzy výskytu borievky obyčajnej v Národnej prírodnej rezervácii Devínska Kobyla a hodnotenie úrovne jej ochrany obyčajnej poukazujú na potrebu zmien prístupov k ochrane a manažmentu chránených území na Slovensku. Zlepšenie systému ochrany si v prvom rade vyžaduje zmenu legislatívy v oblasti ochrany prírody a krajiny, v ktorej kľúčovou zmenou by mala byť implementácia definície medzinárodných štandardov podľa IUCN.

Pri vyhlasovaní, resp. prehodnocovaní chráneného územia Devínska Kobyla je potrebné stanoviť nielen primárne ale aj sekundárne ciele ochrany. Zaradenie do manažmentových kategórií chránených území podľa IUCN by sa malo premietnuť do ďalšej starostlivosti o územie prostredníctvom takých aktivít a projektov, ktorých smerovanie manažmentu bude spĺňať ochranu pre danú kategóriu chráneného územia s tým, že ochrana borievky obyčajnej bude jasne deklarovaná.

## Podakovanie

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

---

## LITERATÚRA

- Aktualizovaná národná stratégia ochrany biodiverzity do roku 2020 (2014); Akčný plán pre implementáciu opatrení vyplývajúcich z aktualizovanej národnej stratégie ochrany biodiverzity do roku 2020 (2014). DAPHNE – Inštitút aplikovanej ekológie, 2015 (cit. 2017 – 03-16). Dostupné na: <http://www.daphne.sk>
- DUDLEY, N. (ed.), 2008. *Guidelines for Applying Protected Area management categories*. Gland, Switzerland. 94 pp.
- HEGEDŮŠOVÁ, K. – SENKO, D. – FERÁKOVÁ, V., 2010. *The study of succession changes in vegetation of Devínska Kobyla Mt. and proposal of management arrangements*. 6. Medzinárodná vedecká konferencia na tému „Aplikovaný výskum a jeho uplatnenie v prírodnej a spoločenskej sfére, 21. 10. 2010, Skalica.
- JANKOVIČ, J. (ed), 2015. *Ročná správa o riešení projektu APVV-14–0843 za rok 2015*. Národné lesnícke centrum, Zvolen, 10 s.
- KADLEČÍK, J. (ed.), 2014. *Príručka k pridelovaniu manažmentových kategórií chránených území podľa IUCN*. ŠOP SR Banská Bystrica. 20 pp. + prílohy, <http://www.sopsr.sk/web/?c/=21>.
- KUČERA, P. 2017. *Návrhy manažmentu v NPK Devínska Kobyla s ohľadom na vybrané druhy drevín*. Ochrana prírody, Banská Bystrica 29, s. 49–59.
- SENKO, D. – MIŠKOVIČ, J. – GALLAY, M. – SENKOVÁ BALDAUFOVÁ, K., 2008. Dynamika zmien vegetácie na Devínskej Kobyle a jej predikcia. *Geografický časopis*, 60/4, p. 319–338.
- PEKÁROVÁ, E. – SVIČEK, M. – BEZÁK, P., 2017. Vhodnosť pôdno-klimatických podmienok pre pestovanie borievky obyčajnej (*Juniperus communis* L.) a jej priestorová diferenciacia v rámci poľnohospodárskych pôd Slovenska. *Vedecké práce NPPC – VÚPOP* č. 39.
- PEKÁROVÁ, E. – SVIČEK, M., 2016. Príčiny poklesu výskytu borievok na poľnohospodárskych pôdach. *Agromagazín – inovácie v agrosektore*, roč. XVIII., č. 4/2016, s. 37–38, ISSN 1335–2261.
- STANOVÁ, V. – VALACHOVIČ, M., (eds.) 2002. *Katalóg biotopov Slovenska*. DAPHNE, Inštitút aplikovanej ekológie, Bratislava, 225 s., ISBN 80–89133.00–2.
- Vyhľadška* č. 24/2003 MŽP SR, ktorou sa vykonáva zákon č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny.
- Zákon NR SR č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny*. Dostupné na internete: <http://www.sopsr.sk/natura/index1.php?p=4&sec=5&kod=SKUEV0280>
- <http://www.enviroportal.sk>. *Štátny zoznam osobitne chránených častí prírody SR*.

# EFEKTÍVNE VYUŽÍVANIE DUSÍKA SO ZAMEDZENÍM NEGATÍVNEHO VPLYVU NA ZDROJE VÔD V ZÁVISLOSTI OD VYBRATÝCH PÔDNYCH VLASTNOSTÍ

## EFFICIENT USE OF NITROGEN REDUCING NEGATIVE IMPACT ON WATER RESOURCES DEPENDING ON THE SELECTED SOIL CHARACTERISTICS

**Vladimír Píš, Jozef Takáč, Zuzana Bezáková, Igor Sobocký**

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy,  
e-mail: v.pis@vupop.sk*

### Abstrakt

V príspevku sú hodnotené riziká prieniku anorganického dusíka do hlbších vrstiev pôdy pri aplikácii anorganických a organických dusíkatých hnojív v období, kedy je podľa zákona o hnojivách ich aplikácia zakázaná. Výsledky analýz ako aj simulované výsledky modelu DAISY ukazujú, že priemerné straty v sledovaných lokalitách sa pohybujú v intervale od 0,90 kg N.ha<sup>-1</sup> po 5,10 kg N.ha<sup>-1</sup>. Relatívne najvyššie straty boli pozorované pri jesennej aplikácii anorganického hnojiva, a to v priemere 11,4% z aplikovanej dávky a najnižšie pri jarnej aplikácii hnojovice, a to 3,28% z aplikovanej dávky. Výsledky potvrdzujú skutočnosť, že vyplavovanie dusičnanov z pôdy u nás je v porovnaní s krajinami západnej Európy všeobecne nízke.

**Kľúčové slová:** Dusičnanová smernica, zraniteľné oblasti, dusičnany, anorganický dusík, organický dusík, model DAISY, vyplavovanie dusičnanov, segmentovaná prietoková analýza

### Abstract

The contribution assesses the risks of penetration of inorganic nitrogen into deeper soil layers when applying inorganic and organic nitrogen fertilizers during the period when the application of the fertilizers act is forbidden. The results of the analyses as well as the simulated DAISY results show that the average losses in the monitored localities range from 0.90 kg N.ha<sup>-1</sup> to 5.10 kg N.ha<sup>-1</sup>. The relative highest losses were observed in the autumn application of inorganic fertilizer, on average 11.4% of the applied dose and the lowest ones in the spring application of fertilizer, 3.28% of the applied dose. The results confirm the fact that nitrate leaching from soil in our country is generally low compared to Western European countries.

**Keywords:** Nitrate Directive, vulnerable zones, nitrates, inorganic nitrogen, organic nitrogen, model DAISY, nitrates leaching, segmented flow analysis

---

## ÚVOD

Prijatím Rámцovej smernice o vode č. 2000/60/ES, ktorá ustanovuje rámec pôsobnosti Európskeho spoločenstva v oblasti vodnej politiky, sa SR zaviazala vytvárať podmienky pre udržateľné využívanie zdrojov vody prostredníctvom ich integrovaného manažmentu v povodiach. V systéme ochrany vodných zdrojov pred znečistením má ochrana vôd pred znečistením z poľnohospodárskej činnosti prioritný význam, ktorej podmienky ustanovuje Dusičnanová smernica č. 91/676/EHS. Tvorí ju súbor opatrení smerujúcich k zníženiu možností znečistenia vodných zdrojov (povrchových aj podzemných) dusičnanmi, ktoré môžu pochádzať z minerálnych hnojív alebo z hospodárskych hnojív (maštalný hnoj, hnojovica, močovka) a to vtedy, keď sú aplikované v nadmerných dávkach a v nesprávnom čase, alebo ak sú nesprávne uskladňované.

V aplikovaných exkrementoch v rámci anorganického podielu prevláda amoniakálna forma. To nepriamo naznačuje, že riziko vyplavenia dusíka v jesennom období po neskoršej jesennej aplikácii tekutých exkrementov je relatívne nízke aj vzhľadom k nízkym teplotám v zimnom polroku, kedy je intenzita nitrifikácie amónnych iónov na dusičnany nízka (BUJNOVSKÝ *et al.*, 2011). Vo všeobecnenom hodnotení možno konštatovať, že vo vyplavenom dusíku sa obyčajne nachádza 90–97 % dusičnanov, len 0,5–3 % amónneho dusíka a iba stopy ostatných foriem dusíka (HRAŠKO *et al.*, 1981). K možnostiam vyplavovania dusíka dochádza predovšetkým pri vysokej akumulácii dusičnanov v pôdnom prostredí. Stáva sa tak v podmienkach priaznivých pre nitrifikačný proces, hlavne v kvalitnom, vysoko humóznom a aerohydricky priaznivom pôdnom prostredí.

Vyplavovanie dusičnanov sa rozhodujúco viaže aj na vlastnosti pôdno-ekologického stanovišťa. Z vlastností pôd je dôležitá predovšetkým ich priepustnosť, sorpčná schopnosť, vodno-vzdušný režim, zrnitostné zloženie, obsah humusu, celková biologická aktivita a iné faktory, napr. aj preferované prúdenie cez makropóry v pôdnom profile (BEVEN, GERMANN, 1982; NOVÁKOVÁ, 2002). Vyplavovanie dusíka z pôdy je umožnené prevahou dusičnanej formy v pôde. Väčšina odborníkov považuje dusík, ktorý sa dostal pôsobením vody do nižších vrstiev pôdy, za vylúhovaný, aj keď sa ešte nachádza v tzv. fyziologickej (prekorenenej) vrstve. Pri dostatočnej hĺbke pôdneho profilu a hladine podzemnej vody 2 m pod povrchom nemôžeme hovoriť o vylúhovaní dusíka, ak sa presunul do hĺbky do 0,7 m, pri dobre prekorenenom profile až do hĺbky 1,0 m. Tento dusík môžu rastliny bežne využiť. BEDRNA, STAŠÍK (1981) zistili, že pri racionálnom hnojení nedochádza k vyplavovaniu väčších množstiev dusíka do hydrosféry, a to ani pri priesakovom type vodného režimu.

Cieľom práce je:

- Stanovenie podmienok efektívneho využitia dusíka so zníženým, alebo žiadnym negatívnym vplyvom na podzemné vody v podmienkach zvýšeného rizika prieniku dusíkatých látok cez pôdny profil, t. j. v podmienkach jesennej a jarnej aplikácie hnojív s obsahom dusíka;
  - Zistenie vplyvu fyzikálnych a hydrofyzikálnych vlastností pôdy na prienik dusíkatých látok pôdnym profilom;
-



- Určenie kvalitatívnych a kvantitatívnych rozdielov v dynamike prieniku dusíkatých látok pri aplikácii organických a anorganických hnojív s obsahom dusíka;
- Implementácia zistených poznatkov na aktuálne vymedzené zraniteľné oblasti v závislosti od druhu pôd.

Voda je principiálne hlavným činiteľom migrácie dusičnanov z pôdneho prostredia. Všeobecne platí, že k vyplavovaniu dochádza predovšetkým v období väčších zrážok a v oblastiach s kolísajúcou hladinou podzemných vôd. V štúdii, ktorú si dala vypracovať Európska komisia (WEBB *et al.*, 2010) a na základe ktorej stanovila obmedzujúce podmienky pre našich poľnohospodárov, sú uvádzané aj údaje o potenciáli rizika prieniku látok pôdnym profilom. Tieto výsledky však boli získané na základe modelovania pomocou modelu MITERRA-Europe. Overovanie výsledkov tohto modelu realizáciou navrhovanej štúdie umožní v reálnych podmienkach posúdiť možnosti aplikácie dusíkatých látok do pôdy. Vzhľadom na to, že Európska komisia čerpá zo štúdie (SAMARELLI, 2011), ktorej výsledky vychádzajú z podmienok, ktoré nie celkom presne zodpovedajú podmienkam zraniteľných oblastí v Slovenskej republike, je potrebné získať reálnejšie výsledky, ktoré umožnia konkrétne posúdenie spôsobu aplikácie dusíkatých hnojív. Podľa zaradenia Slovenska do klimatického regiónu v zmysle uvedenej štúdie je na Slovensku v priemere 240 dní s teplotou vyššou ako 5°C, čo je teoreticky 125 dní (cca 4 mesiace) kedy by sa nemali aplikovať dusíkaté hnojivá. Práve dĺžku tohto obdobia, kedy je aplikácia dusíkatých hnojív zakázaná, je potrebné zrealizovať na podmienky zraniteľných oblastí Slovenska.

## MATERIÁL A METÓDA

Dynamika dusíka bola sledovaná na rôznych typoch a druhoch pôd v rámci zraniteľných oblastí Slovenska. Organická forma dusíka bola aplikovaná vo forme hnojovice a anorganické formy vo forme dusičnanového a amoniakálneho dusíka (dusičnan amónny). Dávka hnojovice bola v množstve 170 kg N/ha. Dávky anorganického hnojiva sa realizovali v dávkach 40 kg N.ha<sup>-1</sup> pri jesennej aplikácii a 60 kg N.ha<sup>-1</sup> pri jarnej aplikácii (zákon č. 394/2015 Z.z.).

Hnojivá boli aplikované na poľnohospodárske kultúry: orná pôda a TTP. Aplikovali sa v hraničnom jesennom období, t.j. v polovici novembra a v jarom resp. neskorom zimnom období sa aplikácia realizovala v druhej polovici februára.

V hnojovici bola stanovená sušina, obsah celkového dusíka, amoniakálneho dusíka a obsah dusičnanového dusíka. Po aplikácii boli odoberané vzorky z pôdneho profilu, a to zo štyroch vrstiev 0–0,20 m; 0,20–0,40 m; 0,40–0,60 m a 0,60–0,80 m. V odobratých vzorkách boli stanovené anorganické formy dusíka. Vzorky na stanovenie anorganického dusíka boli odoberané 7 dní po aplikácii, 14 dní po aplikácii, po 30 dňoch a po 60 dňoch po aplikácii. Anorganické formy dusíka boli stanovené v pôdnom výluhu 1 : 5 v 1M KCl pomocou segmentovaného prietokového analyzátoru SKALAR SUN+ kolorimetrickou metódou. Amónne ióny boli stanovené modifikovanou Berthelotovou reakciou. Amoniak po chlorácii monochlóramínom reaguje s 5-aminosalicylátom a po oxidácii sa zeleno sfarbený komplex meria pri vlnovej dĺžke 660 nm (SKALAR 1993a).

Dusičnany sa stanovili po redukcii na dusitany, ktoré po diazotácii a reakcii s  $\alpha$ -naftyletyléndiamín dihydrochloridom dávajú azo-zlúčeninu, ktorej intenzita sa meria pri vlnovej dĺžke 540 nm (SKALAR 1993b).

Experimenty boli založené na troch základných druhoch pôd, a to na ľahkej, stredne ťažkej a ťažkej a na najrozšírenejších typoch pôd vyskytujúcich sa v zraniteľných oblastiach.

Na experimenty boli vybraté tieto lokality:

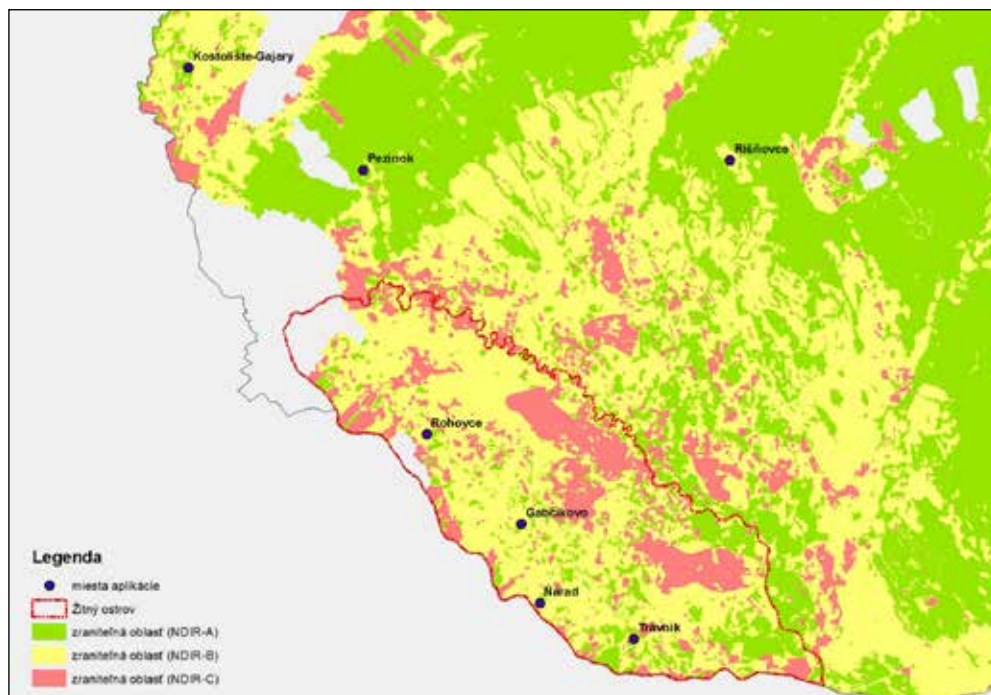
- Lokalita Kostolište – Gajary – pôdny typ regozem z viatych pieskov, ľahká
- Lokalita Rohovce – pôdny typ černozom čiernicová karbonátová, stredne ťažká
- Lokalita Ňárad – pôdny typ fluvizem typická, stredne ťažká
- Lokalita Gabčíkovo – pôdny typ čiernica typická, stredne ťažká
- Lokalita Trávnik – pôdny typ čiernica černozemná, ťažká
- Lokalita Pezinok – pôdny typ kambizem kultizemná zo zvetralín hornín kryštalínika, ľahká
- Lokalita Rišňovce – pôdny typ černozom karbonátová, ľahká.

**Tab. 1** Základné charakteristiky pôd sledovaných lokalít

Lokalita	Ukazovateľ							
	pH/KCl		N <sub>tot</sub> [%]		C <sub>tot</sub> [%]		C/N	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
<b>Kostolište</b>								
<b>0–0,20 m</b>	7,57	7,56	0,056	0,049	0,606	0,938	10,8	19,1
<b>0,20–0,40 m</b>	7,14	7,42	0,068	0,080	0,679	0,725	9,98	9,06
<b>0,40–0,60 m</b>	7,18	7,20	0,024	0,044	0,051	0,075	2,13	1,70
<b>0,60–0,80 m</b>	7,17	7,70	0,008	0,002	0,054	0,019	6,75	9,50
<b>Rohovce</b>								
<b>0–0,20 m</b>	8,32	8,26	0,190	0,157	3,16	2,14	16,6	13,6
<b>0,20–0,40 m</b>	8,27	8,42	0,131	0,163	2,21	1,93	16,9	11,8
<b>0,40–0,60 m</b>	8,62	8,82	0,181	0,131	2,89	1,83	16,0	13,9
<b>0,60–0,80 m</b>	8,84	8,62	0,020	0,025	1,62	1,42	81	56,8
<b>Gabčíkovo</b>								
<b>0–0,20 m</b>	8,13	8,09	0,294	0,309	4,56	4,08	15,5	13,2
<b>0,20–0,40 m</b>	8,03	8,00	0,306	0,264	4,63	3,75	15,1	14,2
<b>0,40–0,60 m</b>	8,17	8,12	0,117	0,092	2,13	2,06	18,2	22,4
<b>0,60–0,80 m</b>	8,36	8,35	0,064	0,049	0,735	0,674	11,5	13,7
<b>Ňárad</b>								
<b>0–0,20 m</b>	8,06	7,94	0,167	0,193	2,63	2,41	15,7	11,1
<b>0,20–0,40 m</b>	8,04	8,25	0,177	0,178	2,78	2,40	13,5	13,5
<b>0,40–0,60 m</b>	8,16	8,45	0,077	0,063	2,05	1,95	26,6	31,0
<b>0,60–0,80 m</b>	8,32	8,51	0,036	0,019	0,767	0,619	21,3	32,6

Lokalita	Ukazovateľ							
	pH/KCl		N <sub>tot</sub> [%]		C <sub>tot</sub> [%]		C/N	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
<b>Trávník</b>								
0–0,20 m	8,06	7,91	0,184	0,197	3,82	5,06	20,8	25,7
0,20–0,40 m	8,18	8,30	0,158	0,114	1,55	1,48	9,81	13,0
0,40–0,60 m	8,34	8,82	0,030	0,040	1,36	1,27	45,3	32,0
0,60–0,80 m	8,64	8,86	0,022	0,023	1,47	2,64	66,8	115
<b>Rišňovce</b>								
0–0,20 m	6,70	6,41	0,100	0,137	0,993	0,987	9,93	7,20
0,20–0,40 m	6,82	6,48	0,082	0,091	0,746	0,587	9,10	6,45
0,40–0,60 m	6,80	6,48	0,099	0,021	0,637	0,633	6,43	30,1
0,60–0,80 m	6,69	6,55	0,078	0,068	0,618	0,672	7,92	9,88
<b>Pezinok</b>								
0–0,20 m	7,01	6,95	0,274	0,288	3,16	3,19	11,5	11,1
0,20–0,40 m	6,87	6,91	0,185	0,188	2,21	2,28	12,0	12,1
0,40–0,60 m	6,99	6,79	0,119	0,100	1,22	1,22	10,3	12,2
0,60–0,80 m	6,67	6,51	0,091	0,116	1,15	1,35	12,6	11,6

Obr. 1 Lokalizácia experimentálnych plôch



**Tab. 2** Analýza hnojovice v rokoch 2014 – 2017

2014	N <sub>t</sub> [%]	C <sub>t</sub> [%]	N-NH <sub>4</sub> [%]	N-NO <sub>3</sub> [%]	pH	Sušina [%]
Hnojovica	0,256	1,06	0,120	< 0,1	9,36	1,24
2015	N <sub>t</sub> [%]	C <sub>t</sub> [%]	N-NH <sub>4</sub> [%]	N-NO <sub>3</sub> [%]	pH	Sušina [%]
Hnojovica	0,392	0,989	0,170	< 0,1	8,96	1,32
2016	N <sub>t</sub> [%]	C <sub>t</sub> [%]	N-NH <sub>4</sub> [%]	N-NO <sub>3</sub> [%]	pH	Sušina [%]
Hnojovica	0,400	1,10	0,118	< 0,1	8,46	1,02
2017	N <sub>t</sub> [%]	C <sub>t</sub> [%]	N-NH <sub>4</sub> [%]	N-NO <sub>3</sub> [%]	pH	Sušina [%]
Hnojovica	0,434	0,736	0,210	< 0,1	9,20	1,83

Pre aplikáciu hnojovice bola použitá hnojovica z malochovu ošípaných a hovädzieho dobytku z Macova (Tab. 3).

Anorganický dusík bol aplikovaný vo forme roztoku dusičnanu amónneho čistoty pre analýzu ktorého deklarovaný obsah dusíka je 34,8%.

Z hľadiska stanovenia čo najreálnejšieho obsahu anorganického dusíka v pôde boli vzorky pôdy spracovávané okamžite v stave prirodzenej vlhkosti bez predchádzajúceho sušenia na vzduchu. Alikvotná časť vzoriek bola vysušená na vzduchu. Z týchto vzoriek sa urobili doplnkové agrochemické a fyzikálne analýzy, ktoré boli využité pri celkovom hodnotení podmienok pohybu dusičnanov cez pôdny profil.

Dávky dusíka boli volené tak, aby zodpovedali hraničným hodnotám vyplývajúcim z Akčného programu Dusičnanovej smernice č. 91/676/EHS (zákon č. 394/2015) a časovo tak, aby dávkovanie zasahovalo do obdobia zákazu aplikácie v neskorom jesennom termíne (koniec novembra) a neskorom zimnom termíne (február) podľa prílohy č. 2 zákona č. 394/2015 Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 136/2000 Z.z. o hnojivách v znení neskorších predpisov.

V odobratých vzorkách sa stanovili anorganické formy dusíka. Z každej sondy a z každej hĺbky pôdneho profilu sa vo vysušených vzorkách stanovilo aj výmenné pH, obsah celkového oxidovateľného uhlíka a obsah celkového dusíka ako aj jednorazovo zrnitostné zloženie a hydrofyzikálne vlastnosti. Uvedené údaje boli vstupom pre modelovanie vertikálneho transportu anorganického dusíka modelom DAISY.

**Model DAISY** bol vyvinutý na Royal Veterinary and Agricultural University (Hansen, 2000) pre simuláciu časti vodného, uhlíkového a dusíkového cyklu v poľnohospodárskych pôdnych systémoch. Model na základe informácie o spôsobe hospodárenia a údajoch o počasí simuluje rast plodiny, vodný režim, tepelný režim, bilanciáciu organickej hmoty a dynamiku dusíka v poľnohospodárskych pôdach. Modelovaný systém môže byť reprezentovaný jednorozmerným modelom, čo je predpoklad spoločný tomuto druhu modelov agroekosystémov. Submodel vodnej bilancie sa skladá z bilancie vody na povrchu a z bilancie pôdnej vody. V rámci vody na povrchu sú modelované procesy: akumulácia a topenie snehovej pokrývky, intercepcia, výpar z porastu, infiltrácia, výtopa a povrchový odtok. Vodný režim pôdy je zložený z prúdenia vody v pôdnej matici a v makropóroch. Tiež zahrňuje odber vody koreňmi rastlín a trubkovú drenáž. Submodel tepelnej bilancie simuluje teplotu pôdy, zamrzanie a rozmrzanie pôdy.

V rámci režimu pôdnych roztokov model simuluje transportné, sorpčné a transformačné procesy. Zvláštny dôraz je kladený na režim dusíka v agroekosystémoch. V rámci tejto práce boli simulované procesy mineralizácie, imobilizácie, nitrifikácie, denitrifikácie, sorpcie  $\text{NH}_4^+$ , odberu  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  a priesaku  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ .

Model je podrobnejšie popísaný v prácach Hansen *et al.* (1990); Abrahamsen, Hansen (2000); Hansen (2000). Bol podrobený viacerým porovnávaniam modelov (PALOSUO *et al.*, 2011; RÖTTER *et al.*, 2012; SALO *et al.*, 2015).

### **Vstupné údaje pre model DAISY:**

#### *Geografická informácia*

- nadmorská výška, zemepisná šírka a zemepisná dĺžka;

#### *Meteorologické údaje*

- denné údaje: globálne žiarenie, priemerná teplota vzduchu, zrážky (minimálne), relatívna vlhkosť vzduchu alebo tlak pár, rýchlosť vetra, maximálna a minimálna denná teplota;
- suchá a vlhká atmosférická depozícia  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ .

#### *Hydrologické údaje*

- hladina podzemnej vody;

#### *Pôdne charakteristiky*

Pre jednotlivé pôdne horizonty:

- hĺbka horizontu
- objemová hmotnosť
- zrnitostné zloženie (podľa USDA)
- obsah humusu
- pomer C:N
- parametre retenčnej čiary ( $\theta_s$ ,  $\theta_r$ ,  $\alpha$  a  $n$ )
- nasýtená hydraulická vodivosť  $K$ .

Pre pôdny profil:

- charakteristiky makropórov: (počiatok, koniec, rozloženie, počiatočný a konečný tlak);
- hĺbka pôdneho profilu (hranica koreňovej zóny);

#### *Hnojivá*

- Druh, zloženie (C, N,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), vlhkosť alebo sušina pri organických hnojivách, využiteľnosť v prvom a v ďalších rokoch.

#### *Osevný postup*

- plodina
  - dátum a spôsob spracovania pôdy
  - dátum sejby, zberu, prípadne kosby u tráv a krmovín
  - dátum, množstvo, druh hnojiva a spôsob hnojenia, hĺbka zapracovania hnojiva
  - dátum, množstvo, intenzita, hĺbka (u podpovrchovej závlahy) a spôsob závlahy (postrek, kvapková)
  - zapracovanie pozberových zvyškov (dátum a spôsob)
  - pozberové straty (podiel zobratej úrody podľa častí plodiny, výška strniska a pod.).
-

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### 1. Klimatické charakteristiky Slovenska

Slovensko sa nachádza v miernom podnebnom pásme v atlanticko-kontinentálnej oblasti, s prevládajúcim vplyvom atlantického oceánu. Typické je maximum zrážok v letnom období a minimum v zimnom období. Vzhľadom na prebiehajúce klimatické zmeny sa mení aj klíma Slovenska. Jedným z hlavných rizík klimatickej zmeny pre oblasť strednej Európy je predpoklad častejšieho výskytu výrazne suchých období, a to najmä v lete a na začiatku jesene. Tento jav má viaceré príčiny. Jednou z nich je výrazný úbytok snehu v zime a jeho skoršie topenie na jar, skorší nástup vegetačného obdobia a tým aj výraznejší výpar na jar (rýchlejšia spotreba pôdnej vlhkosti rastlinami) a nakoniec aj nižšie zrážky a vyššie teploty v lete. Konečným dôsledkom je výrazný nedostatok pôdnej vlhkosti v druhej polovici leta a na začiatku jesene. Negatívne dôsledky týchto javov sú zaznamenané predovšetkým v poľnohospodárstve a vodnom hospodárstve. Ďalším dopadom klimatickej zmeny býva častejší výskyt nebezpečných poveternostných javov, ktoré spôsobujú veľké škody. Ide najmä o víchrice, extrémne vysoké zrážky, povodne, dlhé obdobia bez zrážok - suchá, vlny horúčav, intenzívne búrky a pod. Všetky tieto javy môžu následne významne ovplyvňovať aj dynamiku dusíka v pôde.

### 2. Teplotné a zrážkové pomery v jesennom a zimnom období v experimentálnych lokalitách v rokoch 2014 – 2017

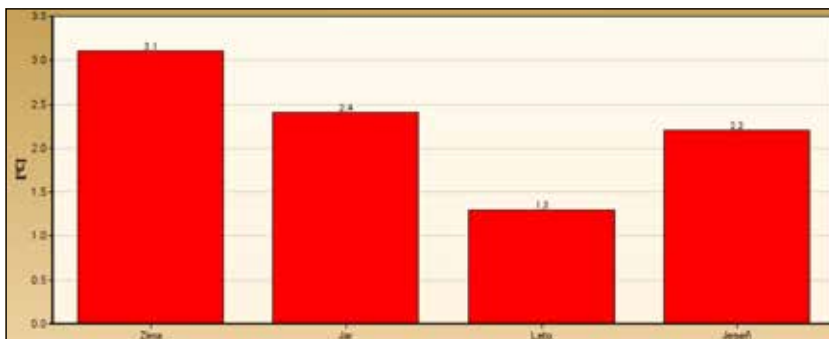
Dynamika dusíka v pôde je veľmi závislá od teplotných a zrážkových pomerov.

#### Teplota

##### Obdobie jeseň 2014 – zima 2015

Teplota v tomto období sa pohybovala nad normálom mesačných teplôt v každom z jesenných a zimných mesiacov, a to od 2,0° až po >4° C nad dlhodobý priemer (z rokov 1961 – 1990) (Obr. 2).

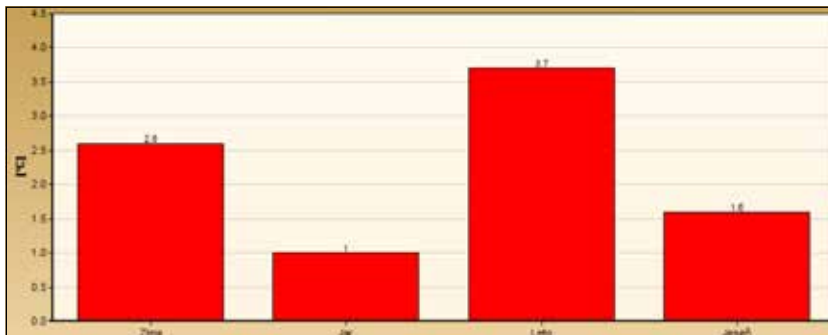
**Obr. 2** Odchýlka priemernej teploty vzduchu v ročných obdobiach v roku 2014 od normálu 1961 – 1990 (Bratislava – letisko) (zdroj SHMÚ)



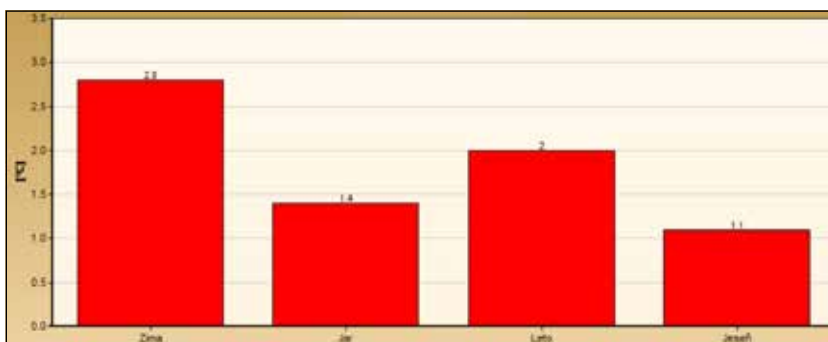
##### Obdobie jeseň 2015 – zima 2016

Teplota v tomto období sa pohybovala nad normálom mesačných teplôt v každom z jesenných a zimných mesiacov, a to od 0,2 až po >5,4° C nad dlhodobý priemer (z rokov 1961 – 1990) (Obr. 3 a 4).

**Obr. 3** Odchýlka priemernej teploty vzduchu v ročných obdobiach v roku 2015 od normálu 1961 – 1990 (Bratislava – letisko) (zdroj SHMÚ)



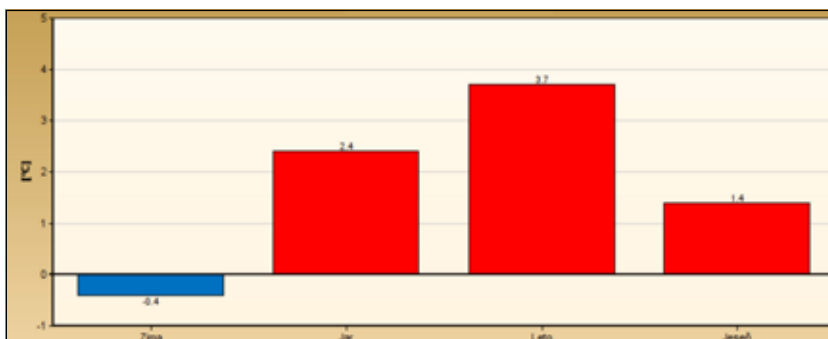
**Obr. 4** Odchýlka priemernej teploty vzduchu v ročných obdobiach v roku 2016 od normálu 1961 – 1990 (Bratislava – letisko) (zdroj SHMÚ)



#### Obdobie jeseň 2016 – zima 2017

Teplota sa v tomto období pohybovala nad normálom mesačných teplôt nad dlhodobý priemer v mesiacoch november, december, február a marec (z rokov 1961 – 1990), a to od 0 – >4,5 °C, avšak v januári 2017 boli teploty hlboko pod dlhodobým normálom, a to až do -4,0 °C. Vzhľadom na pomerne nízku snehovú pokrývku došlo k veľmi hlbokému premrznutiu pôdy až do hĺbky 0,7 m (Obr. 5).

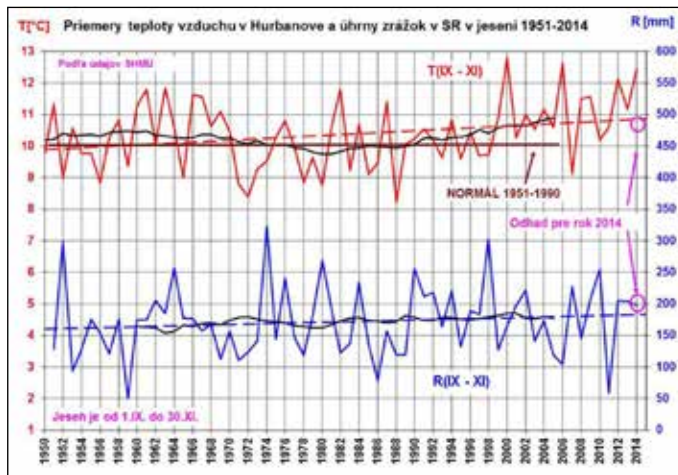
**Obr. 5** Odchýlka priemernej teploty vzduchu v ročných obdobiach v roku 2017 od normálu 1961 – 1990 (Bratislava – letisko) (zdroj SHMÚ)



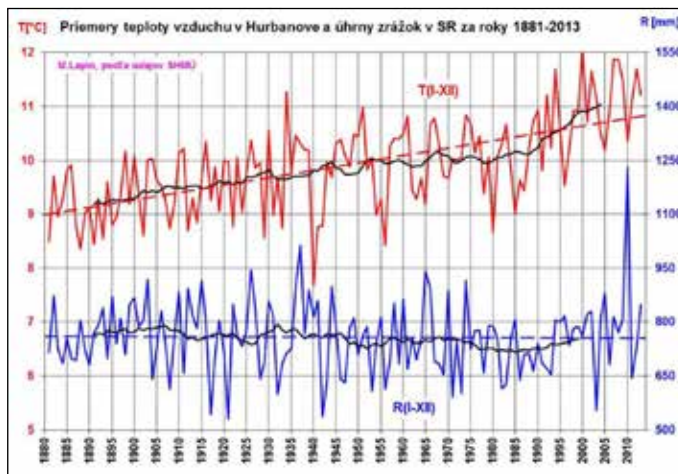
Celkovo sa dá konštatovať, že v sledovaných rokoch 2014–2017 bola teplota v zimnom polroku v mesiacoch november – marec až v 93 % sledovaných mesiacoch nad dlhodobým normálom.

Z obrázkov 2 a 3 vyplýva stúpajúci trend ročnej priemernej teploty vzduchu a aj teplota v jesennom období september až november má stúpajúci trend, avšak množstvo zrážok má len veľmi mierny stúpajúci trend. Výsledkom týchto zmien je predlžujúce sa vegetačné obdobie v jesennom období, čo sa začína v súčasnosti prejavovať aj v posúvaní agrotechnických termínov do neskoršieho jesenného obdobia.

**Obr. 6** Priemerné teploty vzduchu v Hurbanove a úhrny zrážok v SR v jeseni (1951–2014) (LAPIN, 2015)



**Obr. 7** Priemerné teploty vzduchu v Hurbanove a úhrny zrážok v SR v jeseni (1881–2013) (LAPIN, 2015)



Klimatické a agroklimatické podmienky, predovšetkým teplota vzduchu  $>5^{\circ}\text{C}$ , indikujú veľké vegetačné obdobie, počas ktorého plodiny prijímajú rozhodujúcu časť živín. V zraniteľ-



ných oblastiach, kde boli umiestnené experimentálne sondy, je prvý výskyt priemernej teploty vzduchu  $>5^{\circ}\text{C}$  viazaný na obdobie 2. a 3. dekády a posledný výskyt priemernej teploty vzduchu  $>5^{\circ}\text{C}$  viazaný na obdobie 34. a 35. dekády.

Z porovnania rozdielov v teplotách, ktoré boli dokumentované z priemerov rokov 1995–2007 a priemerov rokov 2005–2011 vyplýva, že vplyvom klimatickej zmeny sa interval priemernej teploty vzduchu menej ako  $5^{\circ}\text{C}$  výrazne zúžil.

### **Zrážky**

#### **Obdobie november 2014 – marec 2015**

Zrážky v tomto období sa pohybovali od 59% normálu v novembri až po 183% v januári. V priemere bolo toto obdobie normálne vlhké, a predstavovalo 110% dlhodobého normálu.

#### **Obdobie november 2015 – marec 2016**

Zrážky v tomto období sa pohybovali od 36% normálu v decembri až po 284% vo februári. V priemere však bolo toto obdobie podnormálne, a predstavovalo 73,8% dlhodobého normálu.

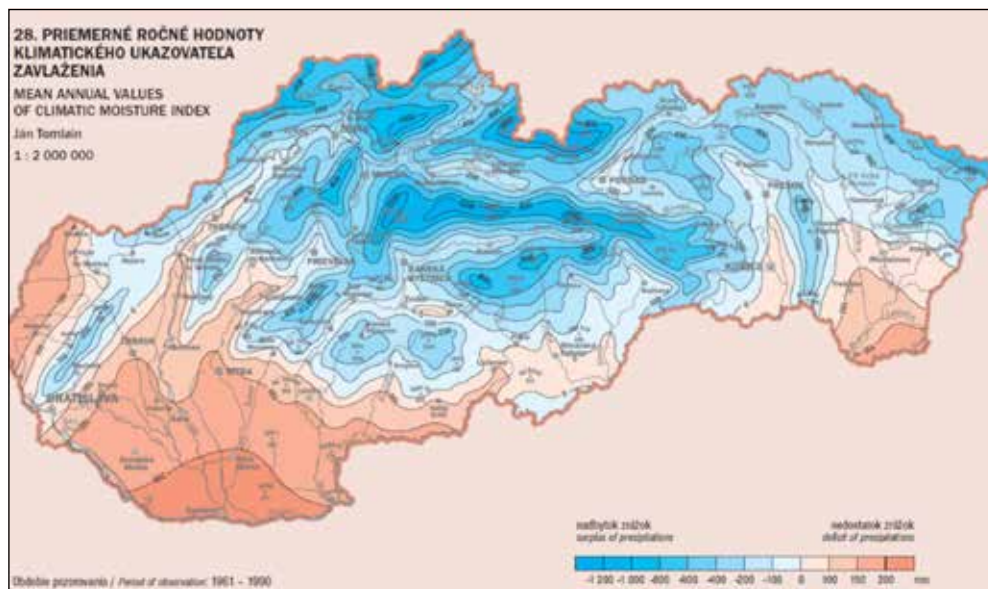
#### **Obdobie november 2016 – marec 2017**

Zrážky v tomto období sa pohybovali od 26% normálu v decembri (silne podnormálne) až po 92% v januári (normálne). V priemere bolo toto obdobie suché, silne podnormálne, a predstavovalo 59% dlhodobého normálu.

Celkovo možno konštatovať, že v sledovaných rokoch 2014–2017 boli zrážky v zimnom polroku v mesiacoch november – marec až v 67% pod dlhodobým normálom.

Priebeh teplôt a zrážok v sledovanom období má z hľadiska rizikovosti prieniku dusičnanov pôdnym profilom priaznivý efekt. Vyššie teploty umožňujú vegetácii prípadne mikroorganizmom zužitkovať dusíkaté látky dlho do zimného obdobia a súčasne nižšie zrážky sú priaz-

**Obr. 8** Priemerné ročné hodnoty klimatického ukazovateľa zavlaženia (In: Atlas krajiny SR, 2002)



nivé z hľadiska nižšieho rizika perkolácie dusičnanov v pôdnom profile. Vo väčšine zraniteľných oblastí Slovenska je zaznamenaný ročný nedostatok zrážok vo výške 100–200 mm (Obr. 8).

### 3. Celkové zhodnotenie výsledkov

Obsah anorganického dusíka bol sledovaný na pôdach zrnitostne ľahkých, stredne ťažkých až ťažkých. Hnojivá boli aplikované na pôdu bez porastu a aj na porast ozimných obilnín, resp. trvalého trávneho porastu (Tab. 3)

**Tab. 3** Priemerný obsah  $N_{an}$  v hĺbke 0,60–0,80 m v rokoch 2014–2017

Lokalita	Aplikované hnojivo	November [mg.kg <sup>-1</sup> ]		Február [mg.kg <sup>-1</sup> ]	
		Aplikácia	Kontrola	Aplikácia	Kontrola
Rohovce	hnojovica	10,5	11,0	9,73	11,5
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	7,00		7,83	
Gabčíkovo	hnojovica	34,3	16,8	17,4	11,1
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	26,9		16,9	
Ňárad	hnojovica	14,4	9,70	11,8	16,4
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	24,7		18,7	
Trávník	hnojovica	8,77	6,20	7,07	6,93
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	8,37		6,57	
Rišňovce	hnojovica	10,3	7,93	5,53	5,90
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	8,37		6,10	
Kostolište	hnojovica	2,63	1,96	3,47	3,53
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2,11		3,63	
Pezinok	hnojovica	4,47	2,77	6,07	5,23
	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2,77		5,60	

Z výsledkov Tab. 3 vyplýva, že obsahy anorganického dusíka v hĺbke 0,60–0,80 m sa po štvrtom odbere od aplikácie pohybovali na lokalitách s ľahkými pôdami (Kostolište, Rišňovce, Pezinok) v intervaloch: pri jesennej aplikácii minerálneho hnojiva od 1,94–1,4 mg.kg<sup>-1</sup> a 2,93–13,9 mg.kg<sup>-1</sup> pri aplikácii hnojovice. Pri nulových variantoch sa obsahy  $N_{an}$  pohybovali v intervale 1,24–7,68 mg.kg<sup>-1</sup>. Medzi jednotlivými druhmi dusíkatého hnojiva neboli pri jesennej aplikácii zaznamenané významné rozdiely.

V rámci neskorej zimnej aplikácie hnojiva sa obsah  $N_{an}$  pohyboval v intervale 4,47–7,58 mg/kg pri minerálnom hnojení a 4,24–10,1 mg.kg<sup>-1</sup> pri aplikácii hnojovice. Pri nulových variantoch sa obsahy  $N_{an}$  pohybovali v intervale 5,01–7,67 mg.kg<sup>-1</sup>. Podobne ako pri jesennej aplikácii neboli medzi jednotlivými druhmi dusíkatého hnojiva pri neskorej zimnej aplikácii zaznamenané významné rozdiely. Vyššie obsahy boli zistené pri všetkých variantoch pri neskoro zimnej aplikácii.

Veľmi dobrá zhoda medzi reálnymi výsledkami a výsledkami z modelu DAISY bola zaznamenaná pri lokalite Kostolište. Z výsledkov modelu DAISY vyplýva, že v lokalite Kostolište boli straty dusičnanového dusíka na úrovni 2,13 % z aplikovanej dávky pri jesennej aplikácii hnojovice a 0,63 % pri aplikácii anorganického dusíka (Tab. 4). Pri zimnej aplikácii boli straty pri hnojovici 1,49 % resp. 0,27 % pri dusičnane amónnom.

Na lokalite Rišňovce boli straty vyplývajúce z výsledkov modelu DAISY pomerne vysoké a pohybovali sa na úrovni od 12,6% pri zimnej aplikácii hnojovice po 50% pri jesennej aplikácii minerálneho dusíka, ale len v rokoch 2015 – 2016. V rokoch 2014 – 2015 a 2016 – 2017 bol vertikálny transport nízky v súlade s reálnymi výsledkami. Modelové výstupy boli pravdepodobne ovplyvnené pomerne vysokými zrážkami v období 2015 – 2016, kedy boli zrážky vo februári až 284% normálu.

Pri aplikácii hnojív na jeseň sa podľa modelu ukazuje, že pri aplikácii anorganického dusíka sú modelované prieniky ešte v jesennom období, aj keď len slabé, avšak pri aplikácii organických hnojív v jeseni dochádza k prieniku dusičnanov až v nasledujúcom vegetačnom období. Uvedená skutočnosť sa dá vysvetliť formou dusíka v organickom hnojive. V hnojovici sa dusík nachádza prevažne vo forme amónnej a organickej (Tab. 2). Keďže v jeseni sa pri nižších teplotách intenzita mineralizácie znižuje a amónne ióny sa pútajú na pôdny sorpčný komplex, prípadne organickú hmotu pôdy (t.j. intenzita nitrifikácie sa znižuje), sú obe formy v zimnom období vo väčšej miere stratifikované a procesy sprístupňovania dusíka sa začnú zintenzívňovať až po oteplení v nasledujúcom vegetačnom období (BIELEK, 1984).

**Tab. 4** Straty  $N-NO_3$  v jednotlivých lokalitách – model DAISY

Lokalita	Čas aplikácie	Aplikované hnojivo	Prienik dusičnanov [kg N.ha <sup>-1</sup> ]	Straty $N-NO_3$ z aplikovanej dávky[%]
Rohovce	november	hnojovica	7,71	4,53
	február		6,48	3,81
	november	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	3,41	7,85
	február		2,79	4,65
Gabčíkovo	november	hnojovica	8,34	4,90
	február		13,4	7,90
	november	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2,55	6,38
	február		0,03	0,05
Nárad	november	hnojovica	3,15	1,85
	február		0,45	0,26
	november	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0	0
	február		0	0
Trávník	november	hnojovica	7,62	4,48
	február		4,36	2,56
	november	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1,18	2,95
	február		0,13	0,22
Rišňovce	november	hnojovica	33,8	19,9
	február		21,4	12,6
	november	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	20,0	50,0
	február		14,0	23,3

<b>Kostolište</b>	november	hnojovica	3,26	2,13
	február		2,53	1,49
	november	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0,25	0,63
	február		0,16	0,27

Na lokalitách so stredne ťažkými a ťažkými pôdami (Rohovce, Gabčíkovo, Ňárád, Trávník) sa obsah anorganického dusíka v hĺbke 0,60–0,80 m po štvrtom odbere od aplikácie pohyboval v intervaloch: pri jesennej aplikácii minerálneho hnojiva od 6,26–23,6 mg.kg<sup>-1</sup> a pri aplikácii hnojovice 9,84–28,9 mg.kg<sup>-1</sup>. Pri nulových variantoch sa obsahy N<sub>an</sub> pohybovali v intervale 4,32–9,78 mg/kg. Medzi jednotlivými druhmi dusíkatého hnojiva neboli pri jesennej aplikácii zaznamenané významné rozdiely.

V rámci neskorej zimnej aplikácie hnojiva sa obsah N<sub>an</sub> pohyboval v intervale 6,80–17,1 mg.kg<sup>-1</sup> pri minerálnom hnojení a 6,62–22,3 mg.kg<sup>-1</sup> pri aplikácii hnojovice. Pri nulových variantoch sa obsahy N<sub>an</sub> pohybovali v intervale 7,45–15,6 mg.kg<sup>-1</sup>. Podobne ako pri jesennej aplikácii neboli medzi jednotlivými druhmi dusíkatého hnojiva pri neskorej zimnej aplikácii zaznamenané významné rozdiely. Relatívne najnižšie obsahy boli zistené v lokalite Trávník, kde bola aplikácia hnojív vykonaná na ozimný jačmeň.

Z modelovaných výsledkov vyplýva, že v lokalite Gabčíkovo boli straty dusičnanového dusíka na úrovni 4,90 % z aplikovanej dávky pri jesennej aplikácii hnojovice a 6,38 % pri aplikácii anorganického dusíka (Tab. 4). Pri zimnej aplikácii boli straty pri hnojovici 7,90 % resp. 0,05 % pri dusičnane amónnom. Na lokalite Rohovce boli straty vyplývajúce z výsledkov modelu DAISY tiež pomerne nízke a pohybovali sa na úrovni od 4,53 % pri zimnej aplikácii hnojovice a 7,85 % pri aplikácii minerálneho dusíka. Pri zimnej aplikácii boli straty pri hnojovici 3,81 % resp. 4,65 % pri dusičnane amónnom. Na lokalite Ňárád boli straty vyplývajúce z výsledkov modelu DAISY najnižšie a pohybovali sa na úrovni od 1,85 % pri zimnej aplikácii hnojovice a 0 % pri aplikácii minerálneho dusíka. Pri zimnej aplikácii boli straty pri hnojovici 0,26 % resp. 0 % pri dusičnane amónnom.

Na lokalite Trávník boli straty čoho dusíka vyplývajúce z výsledkov modelu DAISY (ABRAMSEN, JANSEN 2000) na úrovni od 4,48 % pri zimnej aplikácii hnojovice a 2,95 % pri aplikácii minerálneho dusíka. Pri zimnej aplikácii boli straty pri hnojovici 2,56 % resp. 0,22 % pri dusičnane amónnom.

Podobne ako pri skupine lokalít s ľahšími pôdami, pri aplikácii hnojív na jeseň sa podľa modelu ukazuje, že pri aplikácii anorganického dusíka sú modelované prieniky evidované ešte v jesennom období, aj keď len slabé, avšak pri aplikácii organických hnojív v jeseni dochádza k prieniku dusičnanov až v nasledujúcom vegetačnom období. Riziko vyplavovania dusíka po neskorej jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka v daných agroklimatických podmienkach narastá v jarnom období, čo potvrdzujú aj poznatky viacerých autorov (BÍŽIK, 1989; GREEN *et al.*, 1995; SORENSEN, 2004).

Zo štatistického hodnotenia reálnych výsledkov obsahu anorganického dusíka v najnižších horizontoch vyplýva, že vo väčšine lokalít sú rozdiely medzi kontrolnou vzorkou bez aplikácie dusíkatých hnojív a variantmi s aplikovanými hnojivami štatisticky nevýznamné. Len

v dvoch prípadoch boli výsledky štatisticky významné, a to v Gabčíkove boli zaznamenané rozdiely medzi kontrolnou vzorkou a jesennou aplikáciou hnojovice a v lokalite Rohovce pri jesennej aplikácii anorganického dusíka.

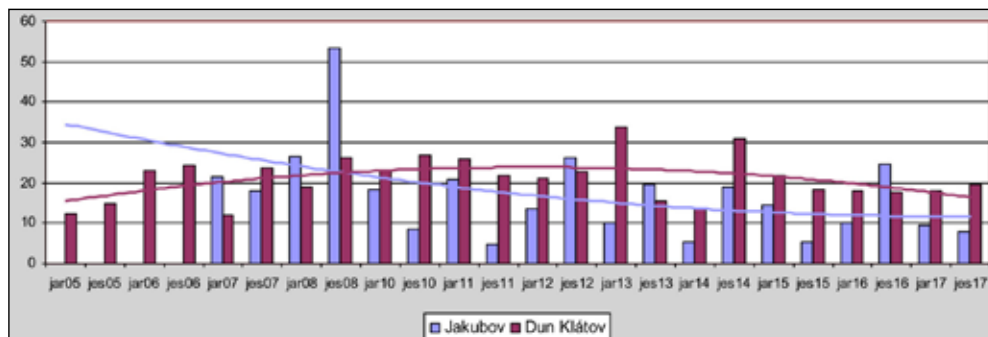
V sledovaných lokalitách sa priemerne vyplaví do hĺbky 1 m 6,02 % aplikovaného dusíka. Pri jesennej aplikácii hnojovice sú priemerné straty dusičnanového dusíka 4,75 % a pri zimnej aplikácii 3,28 %, pri anorganickom hnojive sú straty o niečo vyššie, a to 11,3 % pri jesennej aplikácii a 4,75 % pri zimnej aplikácii. Priemerné straty v sledovaných lokalitách sa pohybujú v intervale od 0,90 kg N/ha<sup>-1</sup> na lokalite Ňárad po 5,10 kg N/ha<sup>-1</sup> v Rohovciach s výnimkou Rišňoviec, kde boli modelované straty až 14,5 kg N/ha<sup>-1</sup>. Najvyššie straty boli zaznamenané pri jesennej aplikácii hnojovice, a to v priemere 8,00 kg N/ha<sup>-1</sup> a najnižšie pri jarnej aplikácii anorganického dusíka, a to 2,85 kg N/ha<sup>-1</sup>.

Uvedené hodnoty korešpondujú z údajmi získanými riešením projektu PHARE (DHI, DHV, TNO, VKI, KRÜGER and KVL, 1995) z ktorého vyplýva, že vyplavovanie dusičnanov je všeobecne nízke v porovnaní s krajinami západnej Európy. Priemerný vážený priemer bol odhadnutý na 12 kg N/ha. Vzhľadom na významné vzliňanie hladiny podzemných vôd v oblastiach s hladinou nad úrovňou štrkovej vrstvy, tieto hodnoty reprezentujú teoreticky „najhoršiu situáciu“.

K podobným výsledkom dospel aj BUJNOVSKÝ *et al.* (2011), ktorí zistili, že straty dusíka na pozemkoch bez porastu pri jarnej aplikácii boli v rozpätí od 0,0–11,7 kg N/ha<sup>-1</sup> a na pozemkoch s rastlinným krytom v rozpätí 0,0–0,7 kg N/ha<sup>-1</sup>, čo zodpovedalo stratám vyplavením 0–0,3 % z aplikovaného množstva na pozemkoch s porastom resp. 1,2–4,0 % na plochách bez porastu. Podobne aj BALÍK *et al.* (2012) zistili lyzimetrickým experimentom straty vyplavením v intervale od 2–6 kg N/ha<sup>-1</sup> pri rôznych druhoch použitého dusíkatého hnojenia.

Namerané výsledky korešpondujú aj z výsledkami monitorovania drenážnych vôd v oblasti Záhoria a Podunajskej nížiny (SOBOCKÝ *et al.*, 2015). Obsah dusičnanov v drenážnych vodách (Obr. 9) v lokalite Jakubov (Lúčny kanál) nepresahuje hodnoty 30 mg.l<sup>-1</sup> a v lokalite, ktorá odvodňuje časť Žitného ostrova, taktiež vo väčšine prípadov nepresahuje obsah dusičnanov 30 mg.l<sup>-1</sup>.

**Obr. 9** Obsah dusičnanov v drenážnych kanáloch Lúčny kanál a Klátovský kanál (SOBOCKÝ *et al.*, 2015)



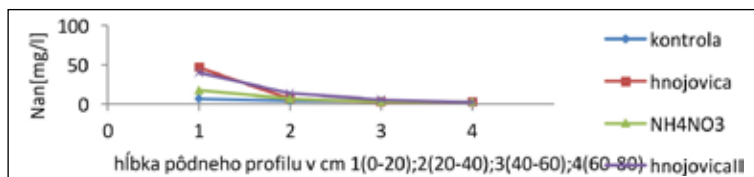
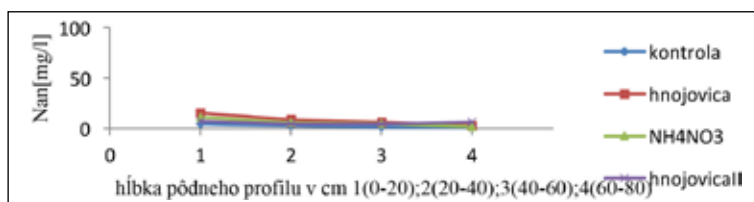
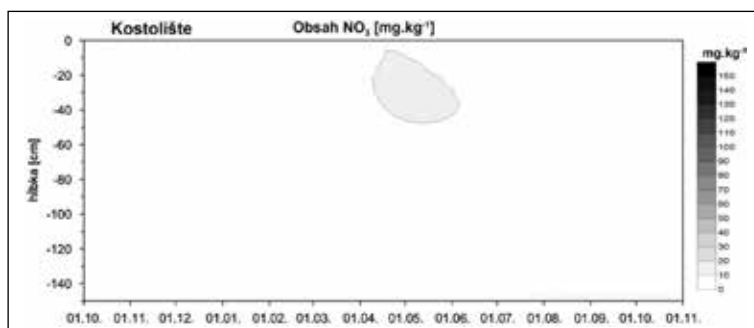
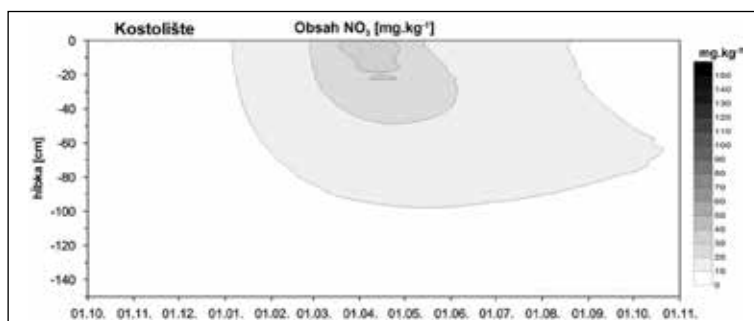
Veľmi dobrá zhoda medzi reálnymi výsledkami a výsledkami z modelu DAISY bola zaznamenaná pri lokalite Kostolište. Z modelovaných výsledkov vyplýva, že v lokalite Kostolište boli straty dusičnanového dusíka na úrovni 2,13 % z aplikovanej dávky pri jesennej aplikácii hnojovice a 0,63 % pri aplikácii anorganického dusíka (Tab. 4). Pri zimnej aplikácii boli straty pri hnojovici 1,49 % resp. 0,27 % pri dusičnane amónnom. Najvyššie množstvo vyplaveného dusíka bolo zistené v lokalite Rišňovce, a to 14,5 kg N/ha<sup>-1</sup>.

Prienik anorganického dusíka pôdnym profilom je ovplyvnený fyzikálnymi a hydro-fyzikálnymi vlastnosťami pôd. Na väčšine sledovaných lokalít sa v horizontoch pod 0,40 m pohybuje objemová hmotnosť pôdy v intervale od 1,36 – 1,74 g.cm<sup>3</sup>, čo predstavuje pre hlinité pôdy hranicu zhutnenosti. Uvedená skutočnosť zrejme prispela spolu s podpriemernými zrážkami k menším stratám dusíka vyplavením.

Ukazuje sa, že na ľahkých pôdach (Kostolište, Rišňovce a Pezinok) sú poklesy obsahu anorganického dusíka s hĺbkou rovnomernejšie, bez výrazných výkyvov, na rozdiel od lokalít s úrodnejšími ťažšími pôdami, kde sú zrejme úrovne anorganického dusíka významnejšie ovplyvňované prirodzene vyššou dynamikou pôdneho organického dusíka. V týchto lokalitách je pravdepodobné, že sa výraznejšie prejavuje akcelerácia mineralizačného procesu tzv. *priming effect* (BIELEK, 1984).

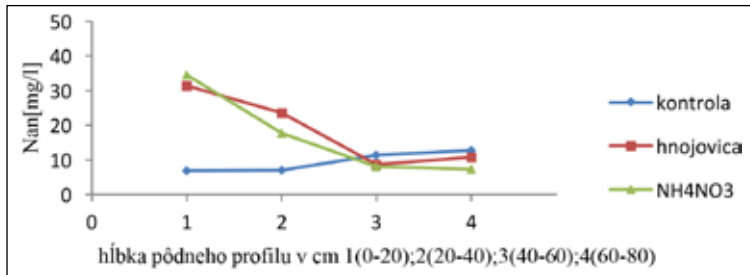
Pomerne vysoký obsah pôdneho organického uhlíka spolu s pridaným ľahko prístupným dusíkom zvyšuje mikrobiologickú aktivitu s následným uvoľňovaním pôdneho dusíka. Pomer C:N v sledovaných lokalitách je pomerne úzky najmä v horizontoch 0 – 0,40 m. Vo väčších hĺbkach sa pomer rozširuje, čo môže spôsobovať imobilizáciu dusíka.

Z hodnôt odchýlok priemerných teplôt (Obr. 2–5) vyplýva, že teplota vzduchu v čase aplikácie a odberov vzoriek bola pomerne vysoko nad dlhodobým priemerom, čo mohlo viesť k intenzívnejšiemu príjmu dusíka porastom (lokality s porastom – Pezinok, Trávník), prípadne k procesom premien foriem dusíka. Je potrebné konštatovať, že takmer v priebehu celého sledovaného obdobia dochádzalo k pomerne vysokým deficitom zrážok v sledovanom zimnom polroku. Výsledky simulácie pomocou modelu DAISY poukazujú na 73,3 % zhodu modelových údajov s reálnymi výsledkami.

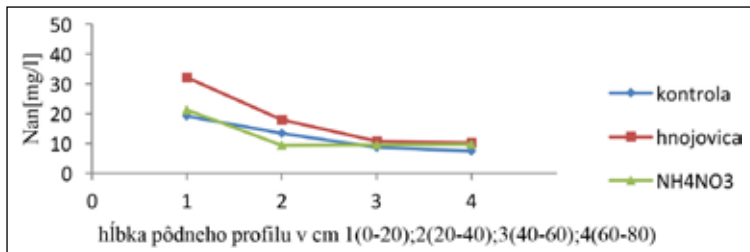
**Kostolište:****Obr. 10** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Kostolište, 7 dní po aplikácii, priemer rokov 2014 – 2016)**Obr. 11** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Kostolište, 60 dní po aplikácii, priemer rokov 2014 – 2016)**Obr. 12** Aplikácia jeseň XI/2015 anorganické hnojivo – model DAISY**Obr. 13** Aplikácia jeseň XI/2015 organické hnojivo – model DAISY

## Rohovce:

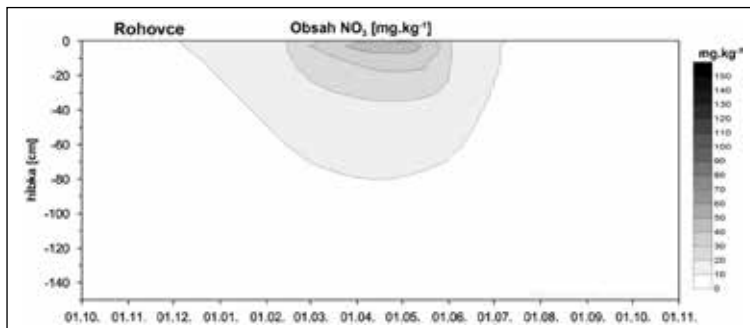
**Obr. 14** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokalita Rohovce, 7 dní po aplikácii, priemer rokov 2015 – 2017)



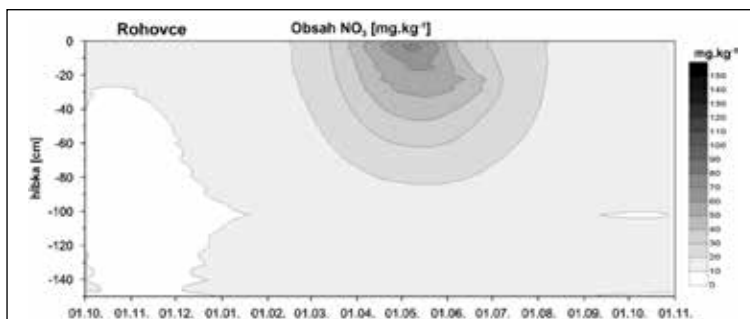
**Obr. 15** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokalita Rohovce, 60 dní po aplikácii, priemer rokov 2015 – 2017)



**Obr. 16** Aplikácia zima II/2016 anorganické hnojivo – model DAISY



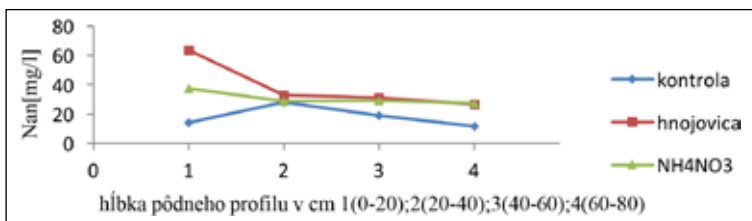
**Obr. 17** Aplikácia zima II/2016 organické hnojivo – model DAISY



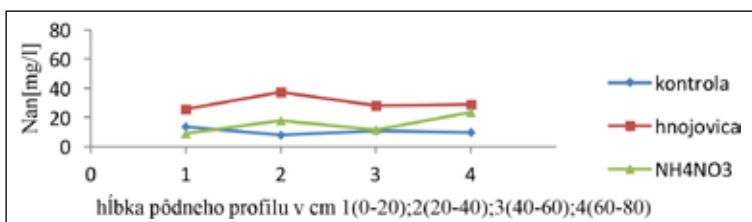


Gabčíkovo:

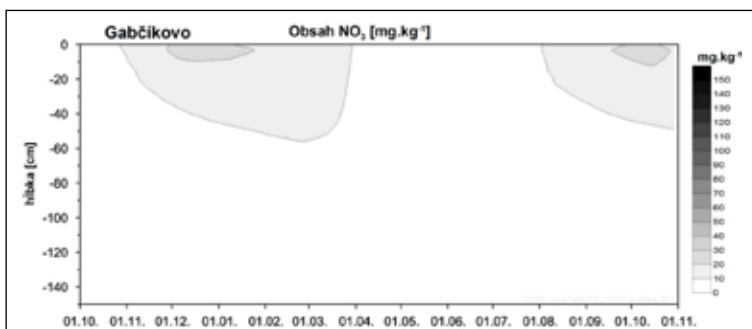
**Obr. 18** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Gabčíkovo, 7 dní po aplikácii, priemer rokov 2014–2016)



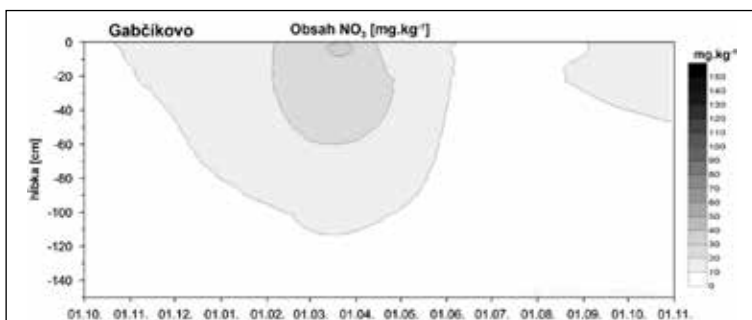
**Obr. 19** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Gabčíkovo, 60 dní po aplikácii, priemer rokov 2014–2016)



**Obr. 20** Aplikácia jeseň XI 2016 anorganické hnojivo – model DAISY

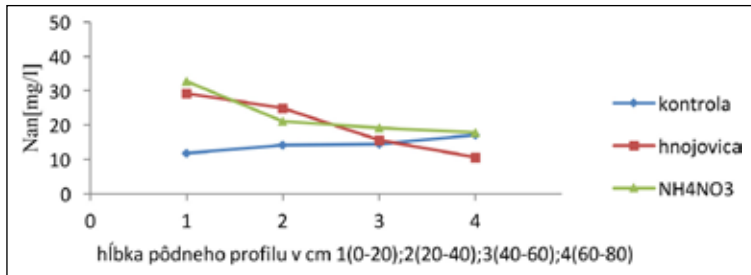


**Obr. 21** Aplikácia jeseň XI 2016 organické hnojivo – model DAISY

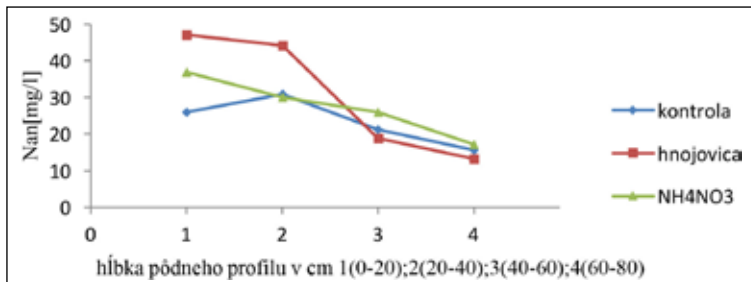


### Ňárad:

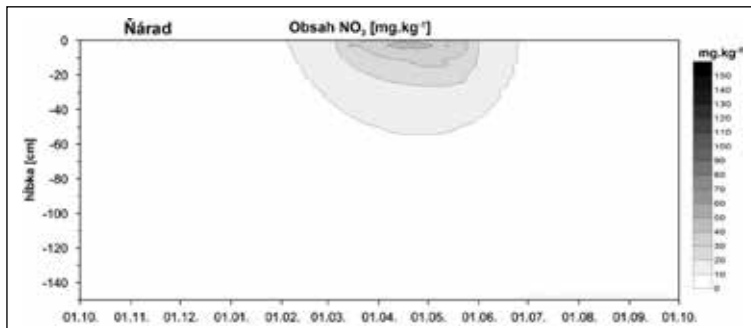
**Obr. 22** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokalita Ňárad, 7 dní po aplikácii, priemer rokov 2015 – 2017)



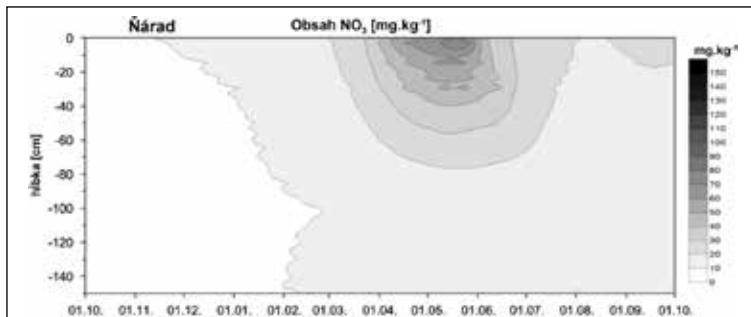
**Obr. 23** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokalita Ňárad, 60 dní po aplikácii, priemer rokov 2015 – 2017)



**Obr. 24** Aplikácia zima II/2017 anorganické hnojivo – model DAISY

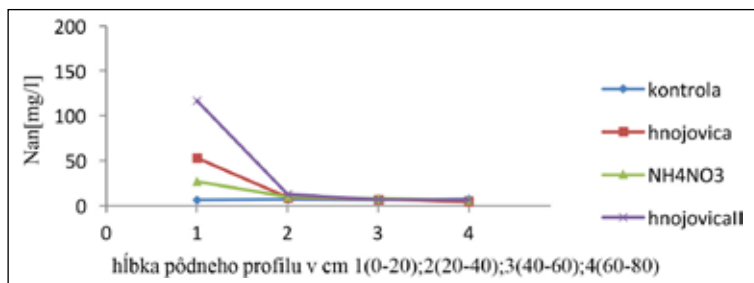


**Obr. 25** Aplikácia zima II/2017 organické hnojivo – model DAISY

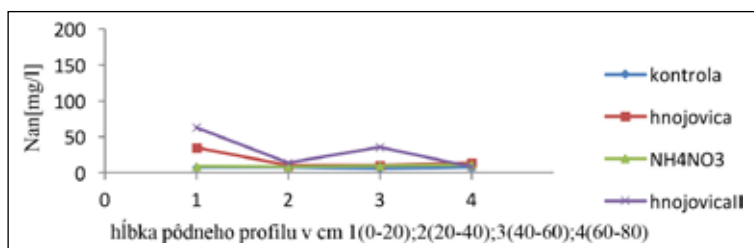


## Rišňovce:

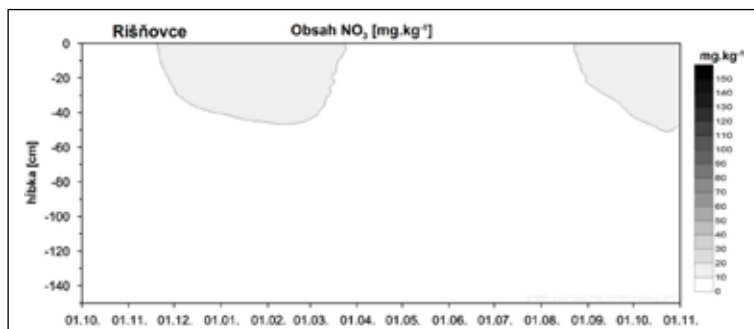
**Obr. 26** Obsah  $N_{20}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Rišňovce, 7 dní po aplikácii, priemer rokov 2014–2016)



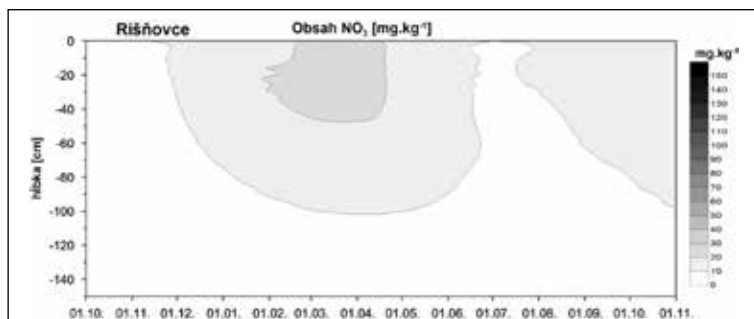
**Obr. 27** Obsah  $N_{20}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Rišňovce, 60 dní po aplikácii, priemer rokov 2014–2016)



**Obr. 28** Aplikácia jeseň XI/2015 anorganické hnojivo – model DAISY

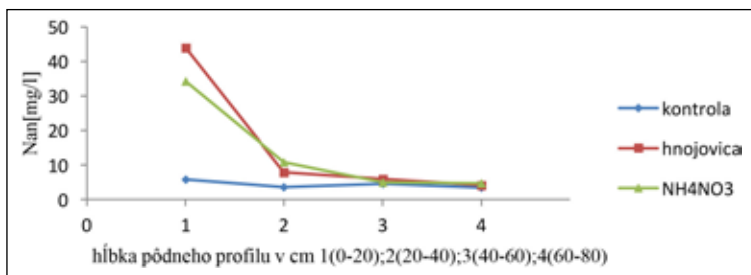


**Obr. 29** Aplikácia jeseň XI/2015 organické hnojivo – model DAISY

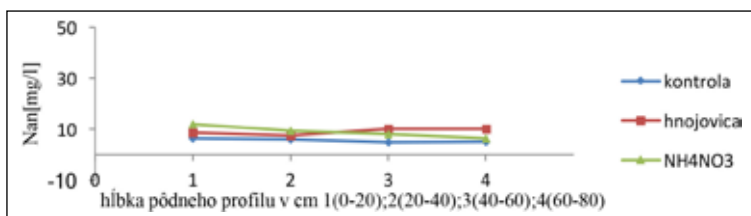


*Pezinok:*

**Obr. 30** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Pezinok, 7 dní po aplikácii, priemer rokov 2015 – 2017)



**Obr. 31** Obsah  $N_{an}$  v pôdnom profile po jesennej aplikácii hnojív s obsahom dusíka (lokality Pezinok, 60 dní po aplikácii, priemer rokov 2015 – 2017)



## ZÁVER

Výsledky analýz ako aj simulované výsledky modelu DAISY ukazujú, že priemerné straty dusíka v sledovaných lokalitách sa pohybujú v intervale od 0,90 kg N.ha<sup>-1</sup> po 5,10 kg N.ha<sup>-1</sup>.

Relatívne najvyššie straty dusíka boli zaznamenané pri jesennej aplikácii anorganického hnojiva, a to v priemere 11,4% z aplikovanej dávky a najnižšie pri jarnej aplikácii hnojovice, a to 3,28% z aplikovanej dávky. Získané výsledky potvrdzujú skutočnosť, že vyplavovanie dusičnanov u nás je všeobecne nízke v porovnaní s krajinami západnej Európy (DHI, DHV, TNO, VKI, KRÜGER and KVL, 1995). Uvedené výsledky, ktoré boli získané experimentmi za extrémnych podmienok (neskorá aplikácia, vysoké dávky) a reprezentujú teoreticky „najhoršiu možnú situáciu“.

Výsledky potvrdzujú, že pri jesennej aplikácii dochádza k zvýšenému uvoľňovaniu dusíka až v nasledujúcom jarnom období, čo je potrebné zohľadňovať pri agronomických úkonoch a hnojovicu aplikovať prednostne na tie plochy, kde bude na jar vysiata prvá plodina, aby sa zabezpečilo využitie uvoľňovaného dusíka plodinou.

V aplikovanej organickej forme dusíkatého hnojiva jednoznačne prevládala amoniakálna forma dusíka. Vzhľadom na vlastnosti amónneho iónu, je pohyb tejto formy dusíka v pôdnom profile veľmi slabý. Pri jesennej aplikácii sú vplyvom nižších teplôt obmedzené procesy nitrifikácie, čím dochádza k stratifikácii dusíka so zníženým rizikom jeho vyplavenia.

Rozdiely medzi jednotlivými druhmi pôd z hľadiska ohrozenia podzemných vôd neboli

veľmi výrazné a ani na ľahkých pôdach nebolo zistené riziko vysokého prieniku do podzemných vôd. Toto riziko je nižšie aj vo vzťahu k hladine podzemnej vody, ktorá sa pohybuje v hĺbkach 2–3 m.

Vzhľadom na výsledky štúdie možno konštatovať, že riziko prieniku dusičnanov pri neskorých jesenných a predjarných aplikáciách je relatívne nízke, a to v množstve priemerne 7,70 kg N/ha. Zistené faktory ovplyvňujúce dynamiku dusíka, majú za následok, že v jesennom období október – november dochádza z dôvodu prebiehajúcej klimatickej zmeny k častému výskytu nadpriemerných teplôt vzduchu. V klimatickej oblasti sledovaných lokalít (teplá až veľmi teplá) nástup priemerných teplôt vzduchu pod 5 °C v jesennom období, resp. nástup teplôt nad 5 °C v neskorom zimnom období začína neskôr, a to začiatkom decembra resp. začiatkom februára. Ročný deficit zrážok v sledovanej oblasti predstavuje 100–200 mm.

Na základe týchto faktov možno konštatovať, že vzhľadom na súčasné, pomerne skoré obdobie zákazu aplikácie hnojív s obsahom dusíka, by bolo možné, pre lokality v klimatickej oblasti veľmi teplej až teplej, pristúpiť k aktualizácii termínov zákazu aplikácie hnojovice, a to bez zvýšeného rizika prieniku dusičnanov do podzemných vôd. Vzhľadom na zvýšené riziko vyplavovania dusičnanov pri jesennej aplikácii anorganických hnojív je potrebné jesennú aplikáciu hnojív vykonávať dôsledne vo vzťahu k potrebám a príjmovej kapacite ozimných plodín počas jesene. Termíny aplikácie anorganických hnojív v jesennom období v rámci v súčasnosti platných dávok by bolo možné aktualizovať podľa meniacich sa agrotechnických termínov sejby plodín aj v období v súčasnosti zakázanom.

Vzhľadom na uvedené výsledky sú naše zistenia v určitom rozpore s údajmi, z ktorých vychádzala Európska komisia pri určení intervalu obdobia zákazu aplikácie hnojív s obsahom dusíka. Zakázané obdobie podľa EK by v našej klimatickej oblasti malo byť od 1. augusta do 1. februára ± 1 mesiac pre oblasti s vysokým potenciálnym rizikom vyplavovania (Výzva – Porušenie č. 2012/2097, 2012). Podľa údajov publikovaných v štúdiu, ktorú si dala vypracovať Európska komisia (SMARELLI, 2011), sa však väčšina územia Slovenska nachádza v oblasti len so stredným rizikom vyplavovania, čo potvrdzujú aj naše výsledky. Podobne, čo sa týka zrážok, na rozdiel od interpretácie v uvedenej štúdiu, je v rámci Slovenska, podľa údajov SHMÚ, ročný nedostatok zrážok 100–200 mm v rámci zraniteľných oblastí (Obr. 8). Preto sa domnievame, že obdobie zákazu aplikácie hnojív s obsahom dusíka, ktoré požaduje EK, je neprimerane prísne pre podmienky Slovenskej republiky.

Vzhľadom na to, že Dusičnanová smernica sa týka aj ochrany povrchových vôd, je potrebné v budúcnosti sa zamerať na riešenie podmienok dynamiky dusíka v svahovitých regiónoch s cieľom kvantifikovať množstvá anorganického dusíka unikajúceho do povrchových vôd. Takisto je potrebné overiť podmienky aplikácie hnojív s obsahom dusíka aj v chladnejších klimatických regiónoch Slovenska.

## LITERATÚRA

- ABRAHAMSEN, P. – HANSEN, S. 2000. Daisy: An Open Soil – Plant – Atmosphere System Model. *Environmental Modelling & Software*, 15, 313–330.
- BALÍK, J. – ČERNÝ, J. – KULHÁNEK, M. 2012. *Bilance dusíku v zemědělství*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha: 2012.
- BEVEN, K. – GERMANN, P. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Res.*, 18, 5, 1311–132.
- BEDRNA, Z. – STAŠÍK, V. 1981. *Vplyv intenzity hnojenia na straty živín z pôdy*. Závěrečná správa VÚPVR, Bratislava.
- BIELEK, P. 1984. *Dusík v pôde a jeho premeny*. Príroda, Bratislava, 135 s.
- BIELEK, P. – KUDEYAROV, V.N. et al. 1991. *Nitrogen cycles in the present agriculture*. Príroda, Bratislava, ISBN 80-07-00282-0, 248 s.
- BÍZIK, J. 1989. *Podmienky optimalizácie výživy rastlín dusíkom*. Vydavateľstvo SAV Veda, 189 s.
- BUJNOVSKÝ, R. et al. 2011. *Overenie podmienok aplikácie tekutých exkrementov zvierat do pôdy a rizík vyplývajúcich z voľného skladovania tuhých hospodárskych hnojív na poľnohospodárskej pôde*. Správa za odbornú úlohu v rámci Kontraktu MPRV SR, VÚPOP, Bratislava.
- DAUDÉN, A. – QUÍLEZ, D. – VERA, M.V. 2004. Pig slurry application and irrigation effects on nitrate leaching in mediterranean soil lysimeters. *J. Environ. Qual.*, 33, p. 2290–2295.
- DECAU, M L. – SIMON, J.C. – JACQUET, A. 2004. Nitrate leaching under grassland as affected by mineral nitrogen fertilization and cattle urine. *J. Environ. Qual.*, 33, p. 637–644.
- DHI, DHV, TNO, VKI, Krüger and KVL, 1995. *PHARE Project Danubian Lowland - Ground Water Model (PHARE/EC/WAT/1)*. Final Report. Prepared by a consultant group for the Ministry of the Environment, Slovak Republic and for the Commission of the European Communities. Vol. 1, 65 pp., Vol. 2, 439 pp. Vol. 3, 297 pp., Bratislava
- FECENKO, J. – LOŽEK, O. 2000. *Výživa a hnojenie poľných plodín*. SPU Nitra, ISBN 80–7137-777–5, 452 s.
- GREEN, C.J. – BLACKMER, A.M. – HORTON, R. 1995. Nitrogen effects on conservation of carbon during corn residue decomposition in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 1995, p. 453–459.
- 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 soilplantatmosphere system*. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen.
- HANSEN, S. 2000. *Daisy, a Flexible Soil – Plant – Atmosphere System Model. Equation Section 1*. The Royal Veterinary and Agricultural University. Copenhagen, p.1–47.
- HOFMANN, G. et al. 1987. Protection of water quality. 5<sup>th</sup> Internal. Symp. CIEC, Balatonfüred, s. 110–115.
- HRAŠKO, J. et al. 1981. *Výskum zložiek pôdnej úrodnosti, jej dynamiky a metód hodnotenia*. Syntetická záverečná správa za HÚ, VÚPVR, Bratislava.
- KUDLIČKOVÁ, J. – BIELEK, P. 1981. *Hnojenie minerálnymi formami dusíka v laboratórnych lyzimetoch – migrácia, straty, využitie*. Závěrečná správa VÚPVR, Bratislava.
- LEHOTSKÝ, J. 1984. Agricultural production in relation to water resources. *Zborník ČSVTS*, Košice, s. 72–75.
- LAPIN, M. 2015. *Dlhodobý režim teploty vzduchu v Hurbanove a úhrnov atmosférických zrážok na Slovensku*. Dostupné na [www.milanlapin.estranky.sk](http://www.milanlapin.estranky.sk).
- MELOUN, M – MILITKÝ, J. 1994. *Statistické zpracování experimentálních dat*. Plus. Praha.
- MŽP SR Bratislava, SAŽP Banská Bystrica 2002. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava.
- NISSSEN, T.M. – WANDER, M.M. 2003. Management and soil-quality effects on fertilizer-use efficiency and leaching. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, p. 1524–1532.
- NOVÁKOVÁ, K. 2002. Preferované prúdenie vody a rozpustených látok v pôde. CD-ROM z konferencie «Pôda a rastlina». Katedra pedológie, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 7. februára 2002. *PHYTOPEDON (Bratislava), Journal of Soil Science, Supplement 2002/1*, ISSN 1336–1120, s. 155–159.
- NOVÁKOVÁ, K. 2003a. Vplyv prírodného prostredia na zraniteľnosť podzemnej vody. *Acta Hydrologica Slovaca*, ISSN 1335–6291, 4, 2, s. 367–374.
- NOVÁKOVÁ, K. – PÍŠ, V. – REHÁK, Š. 2003. Pôdne parametre ovplyvňujúce zraniteľnosť podzemnej vody. In: *Druhé pôdoznalecké dni v SR. Stará Lesná, 16.-18. 6. 2003*. Zborník referátov na CD ROM, s. 295–301.
- PALOSUO, T. – KERSEBAUM, K.CH. – ANGULO, C. – HLAVINKA, P. – MORIONDO, M. – OLESEN, J.E. – PATIL, R.H. – RUGET, F. – RUMBAUR, CH. – TAKÁČ, J. – TRNKA, M. – BINDI, M. – CALDAG, B. – EWERT, F. – FERISE, R. – MIRSCHEL, W. – SAYLAN, L. – ŠÍŠKA, 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.

- PÍŠ, V. – NOVÁKOVÁ, K. 2002. Vplyv vlastností pôdy na mobilitu ťažkých kovov. CD-ROM z konferencie «Pôda a rastlina». Katedra pedológie, Prírodovedecká fakulta UK Bratislava, 7. februára 2002. *PHYTOPEDON (Bratislava), Journal of Soil Science, Supplement 2002/1*, ISSN 1336–1120, p. 180–186.
- RÖTTER, R. – PALOSUO, T. – KERSEBAUM, K.C.H. – ANGULO, C. – BINDI, M. – EWERT, F. – FERRISE, R. – HLAVINKA, 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.
- SCHNEBELEN, N. *et al.* 2004. The STICS model to predict nitrate leaching following agricultural practices. *Agronomie*, 24, p. 423–435.
- SKALAR 1993a. MANUAL SAN PLUS ANALYSER Skalar analytical Order no. 93113690: SKALAR METHODS, *Analysis of Ammonia in water, cantr.* 155–420. Breda, 1993.
- SKALAR 1993b. MANUAL SAN PLUS ANALYSER Skalar analytical Order no. 93113690: SKALAR METHODS, *Analysis of Nitrate and Nitrite in Water, cantr.* 461–712. Breda, 1993.
- SKALAR 1993c. MANUAL SAN PLUS ANALYSER Skalar analytical Order no. 93113690: SKALAR METHODS, *Total Nitrogen in soil digest, cantr.* 473–324. Breda, 1993.
- SAMARELLI, L. 2011. *Review and further differentiation of pedo-climatic zones in Europe*. Contract N°07 0307/2010/580551/ETU/B1. Alterra, Wageningen University and Research Centre. Part A,B,C,D.
- SOBOCKÝ, I. – PÍŠ, V. – NÁGEL, D. 2015. *Monitorovanie kvality závlahových a drenážnych vôd*. Záverečná správa za odbornú úlohu v roku 2015. Bratislava: VÚPOP, 49 s.
- SORENSEN, P. 2004. Immobilization, remineralization and residual effect in subsequent crops of dairy cattle slurry nitrogen compared to mineral fertiliser nitrogen. *Plant Soil* 267, 2004, p. 285–296.
- SALO, T.J. – PALOSUO, T. – KERSEBAUM, K.C. – NENDEL, C. – ANGULO, C. – EWERT, F. – BINDI, M. – CALANCAP, – KLEIN, T. – MORIONDO, M. – FERRISE, R. – OLESEN, J.E. – PATIL, R.H. – RUGET, F. – TAKÁČ, J. – HLAVINKA, P. – TRNKA, M. – RÖTTER, R.P. 2015. Comparing the performance of eleven crop simulation models in predicting yield response to nitrogen fertilisation. *Journal of Agricultural Science, Cambridge University Press*, 12/2015. Doi: 10.1017/S0021859615001124.
- VIDAČEK, Ž. – SRAKA, M. – BENSA, A. 2002. Impact of hydroamelioration on soil moisture regime and nitrate leaching. *17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science*, 14-21. August 2002, Thailand, Symposium no. 54, Paper no. 556, p. 1–7.
- Výzva – Porušenie č. 2012/2097 C(2012)8322 final. 2012. Europese Commissie, B-1049 Brussel-Belgium
- WEBB, J. *et al.* 2010. *Study of variation of manure N efficiency throughout Europe*. Final Report, European Commission-Directorat General Environment.
- ZÁKON č. 394/2015, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 136/2000 Z.z. o hnojivách v znení neskorších predpisov. Príloha č. 2. Bratislava, 2015.
- Zborník prác SHMÚ 5. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava 1973.
- ZHU, Y. – FOX, R.H. – TOTH, J.D. 2003 Tillage effects on nitrate leaching measured by pan and wick lysimeters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, p. 1517–1523.
-

# VÝZNAM DOPADU KLIMATICKEJ ZMENY NA PÔDU VO SVETLE NOVÝCH GLOBÁLNYCH VÝZIEV

## THE IMPORTANCE OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON SOIL IN THE LIGHT OF NEW GLOBAL CHALLENGES

Jaroslava Sobocká<sup>1</sup>, Jozef Takáč<sup>1</sup>, Pavol Bezák<sup>1</sup>, Gabriela Barančíková<sup>2</sup>

*NPPC – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy Bratislava<sup>1</sup>, Regionálne pracovisko Prešov<sup>2</sup>  
e-mail: j.sobocka@vupop.sk*

### Abstrakt

Zmena klímy a extrémne poveternostné udalosti (sucho, mráz, povodne) budú predstavovať čoraz častejší jav, ktorému sa bude musieť agrosektor prispôbiť, najmä preto, že klíma je neoddeliteľnou súčasťou poľnohospodárskeho podnikania na všetkých úrovniach riadenia. Dokumenty Agendy 2030 (SDG), COP 21, IPBES, SPP EÚ a ďalšie predstavujú problematiku udržateľného manažmentu pôdy a vody vo vidieckych a lesných oblastiach. Legislatíva ochrany pôdy na Slovensku je v porovnaní s krajinami Európskej únie jedinečná a umožňuje chrániť pôdne zdroje, problémom je však účinnosť navrhovaných opatrení. Z hľadiska zmiernenia dopadov klimatickej zmeny na pôdu existujú veľké možnosti a to cez udržateľný manažment, ktorý by sa mal zamerať na: i) predchádzanie degradácie pôd dômyselným využívaním poľnohospodárskej a lesnej pôdy, ii) prijímanie politík a stratégií pre udržateľný manažment a iii) zvyšovanie povedomia užívateľov a vlastníkov poľnohospodárskych a lesných území. Očakáva sa, že zavedením udržateľných inovačných procesov v poľnohospodárstve a lesnom hospodárstve budú výrobné systémy úspešné v kvalite a množstve produkcie, poskytovaní zlepšených ekosystémových služieb a kvality života na vidieku. Na Slovensku je potrebné monitorovať a modelovať periódy sucha a povodní, navrhnuť účinné nástroje na adaptáciu a vykonať ich testovanie. Vo výskume a vývoji sa zavádzajú niektoré príklady nových nástrojov na prispôbenie sa zmene klímy, napr. zvýšenie zásobovania vodou a dostupnosti vody v pôde, predikcia výnosov, nová agroklimatická regionalizácia, úloha organických látok v pôde a krajine, vodná erózia a jej dôsledky na zhoršenie pôdy. Vzhľadom na to, že približne 90% poľnohospodárskej pôdy na Slovensku je prenajímaných vlastníckymi a iba užívatelia prichádzajú do styku s obhospodarovaním pôd, kľúčovým riešením tohto procesu je vzťah užívateľa k pôde. Spoločná poľnohospodárska politika (SPP) je definovaná ako jednoduchý a účinný politický nástroj na podporu poľnohospodárov, ktorí hospodária so svojimi pôdnymi zdrojmi udržateľným spôsobom. Zlepšenie vidieckeho prostredia prostredníctvom podpory udržateľného manažmentu založenom na multifunkčných poľnohospodárskych a lesníckych systémoch je tou správnou cestou prispôbiť sa očakávaným vplyvom zmeny klímy.

**Kľúčové slová:** zmena klímy, udržateľný manažment, prírodné zdroje, integrovaný manažment pôdy a vody, výzvy OSN



## Abstract

Climate change and extreme weather events (drought, frost, flood) will represent an increasingly frequent phenomenon that the agro-sector will need to adapt to, mainly because the climate is an inseparable part of the agricultural business at all levels of its management. Documents of the Agenda 2030 (SDGs), COP 21, IPBES, CAP EU and the others represent issues of sustainable soil and water management in rural and forest land. The soil protection legislation in Slovakia is unique compared to the countries of the European Union and allows to protect soil resources, however the effectiveness of the proposed measures is a problem. To mitigate climate change there are great options for sustainable management which need to aim at: i) prevent land degradation by ingenious agricultural and forest land use, ii) adopt sustainable management policies and strategies and iii) rise awareness of agricultural and forest users and owners. It is expected that by introducing sustainable innovative processes in agriculture and forestry production systems will be successful in quality and quantity of products, providing improved ecosystem services, and quality of life in the countryside. In Slovakia there is a need to monitor and model drought and flood events, to propose effective instruments for adaptation and to test them. In research and development some examples of new climate change adaptation tools are introduced, e.g. the increase of water supply and water availability in soil, yield prediction, new agro-climate regionalization, the role of soil organic matter in countryside, water erosion and its implication in land deterioration. Due to the fact that about 90% of agricultural land in Slovakia is leased from the owners and only users come into contact with the soil management, the user's relationship to the soil declining but on the other hand it is crucial point in this process. The Common Agricultural Policy (CAP) is defined as a simple and effective policy instrument to encourage farmers managing their land resources in a sustainable way. Improving of the rural environment by promoting the sustainable management based on multifunctional agricultural and forestry systems is the right way to adapt to expected climate change impacts.

**Keywords:** climate change, sustainable management, natural resource, soil and water integrated management, UN challenges

## ÚVOD

### Motto:

*Len málokto si uvedomuje, že účinná ochrana poľnohospodárskej a lesnej pôdy a implementácia prístupu integrovaného a udržateľného manažmentu môžu významne prispieť k zmierneniu účinkov zmeny klímy.*

Medzi hlavné príčiny degradácie pôdy patrí nevhodné využívanie pôdy spolu s rastúcim tlakom obyvateľstva na pôdu, zmeny v štruktúre spotreby a opakujúcimi sa klimatickými obdobiami sucha a povodní. Výsledkom týchto globálnych procesov a tlakov bývajú každý rok bezprostredné a dlhodobé hrozby udržania života miliónov ľudí. Predpokladá sa, že hospodárske straty dosahujú

---

niekoľko desiatok miliárd eur (FAO 2017a). Planéta Zem každoročne stráca viac ako 25–40 miliárd ton ornice, a to hlavne kvôli ľudskej činnosti (FAO a ITPS 2015). Úrodná pôda sa mení na púšť v miere 30–35 krát vyššej ako v predindustriálnom období (UN 2015). Približne 54 % rozlohy zemského povrchu, t.j. 2 miliardy hektárov, je do určitej miery degradovanej (FAO 2011).

Aby sme mohli čeliť tomuto vývoju, t.j. zmierniť a predchádzať procesom degradácie pôdy, je potrebné mať aktuálne informácie o ich súčasnom stave a trendoch vývoja ako základ udržateľného obhospodarovania pôdy. Zhoršovanie životného prostredia spolu s potenciálne ničivými účinkami klimatickej zmeny ohrozuje stabilitu celkového systému Zeme a rozvojové benefity dosiahnuté v posledných desaťročiach (SMITH *et al.* 2016).

Degradácia pôdy je hrozbou pre globálnu udržateľnosť, pretože ovplyvňuje približne 25 % rozlohy svetovej súše. Rozloha lesov sa zredukovala približne o 50 % so sprievodnými stratami uhlíka a emisií do ovzdušia. Hlavným dôvodom narastajúcich konfliktov sú klimatické zmeny, úbytok biodiverzity, degradácia pôdy, dezertifikácia a sucha, ako aj nerovnosť v prístupe obyvateľov k prírodným zdrojom a rozdelenie benefitov z nich (FAO 2014). Najmä klimatické zmeny ohrozujú našu schopnosť zabezpečiť globálnu potravinovú bezpečnosť, odstrániť chudobu a dosiahnuť udržateľný rozvoj. Emisie skleníkových plynov pochádzajúce z ľudskej činnosti a veľkochovov hospodárskych zvierat sú významným faktorom zmeny klímy, zachytávajú teplo v atmosfére Zeme a spúšťajú globálne otepľovanie.

Zmena klímy má priame aj nepriame účinky na poľnohospodársku produktivitu vrátane meniaceho sa rozloženia zrážok, sucha, záplav a geografického premiestňovania škodcov a chorôb. V našich poľnohospodárskych systémoch, ako aj v celom potravinovom reťazci, sa musia uskutočniť hlboké zmeny, aby sa zabránilo zvyšovaniu teplôt a aby sa systémy tejto zmene prispôbili, zmiernili a budovala sa určitá odolnosť voči klimatickej zmene. Základným míľnikom tejto transformácie je zabezpečiť, aby opatrenia v oblasti klímy mali rozvojovú tendenciu a súviseli s plnením cieľov udržateľného rozvoja (SDGs). Je potrebné podporovať krajiny v aktivitách zmiernenia a prispôbenia sa vplyvom zmeny klímy prostredníctvom širokej škály výskumných a praktických programov a projektov, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou Agendy 2030 a cieľov udržateľného rozvoja (UN 2015).

### **Medzinárodný kontext problematiky**

Agenda 2030 explicitne uvádza pôdu a krajinu v troch cieľoch (2.4, 3.9 a 15.3), ale aj ďalšie ciele SDG sú spojené s kvalitou pôd. Táto nová dynamika sa odráža v medzinárodnej agende dohovorov a programov OSN: UNCCD (SPI) – Neutralita degradácie krajiny (LDN), UNFCCC (IPCC), Parížska dohoda, UNCBD Dohovor o pôdnej biodiverzite (IPBES) – Degradácia a obnova pôdy a UNEA3 – Planéta bez znečistenia, ktorá zahŕňa aj kontamináciu pôdy. FAO OSN iniciovalo a cielene vyvinulo svetové aktivity na ochranu pôdy v rámci Globálneho partnerstva pre pôdu (GSP) a Medzivládneho technického panelu pre pôdu (ITPS). Európske partnerstvo pre pôdu (ESP) funguje na regionálnej úrovni (FAO 2017b). Mandátom GSP je zlepšiť manažment obmedzených zdrojov planéty Zeme, aby zdravá a produktívna pôda poskytovala potraviny a podporovala ekosystémové služby v súlade so zvrchovaným právom každého štátu na jeho prírodné zdroje.

V roku 2006 Európska komisia predložila Tematickú stratégiu o pôde a návrh Rámcovej smernice o pôde (COM 2006). Tematická stratégia o pôde, ktorá doteraz predstavuje najkom-

plexnejší nástroj ochrany pôdy na úrovni Európskej únie, definovala spoločný prístup k ochrane pôdy. Obsahuje štyri piliere: 1) zvyšovanie povedomia, 2) výskum, 3) integrácia pôdnych aspektov do iných politík a 4) osobitné právne predpisy. Rámcová smernica o pôde (neskôr neschválená) vyžadovala od členských štátov, aby identifikovali oblasti, ktoré sú ohrozené eróziou, stratou organických látok v pôde, salinizáciou, zhutňovaním, okysľovaním a zosuvmi pôdy a vypracovali zoznam kontaminovaných lokalít s cieľom navrhnúť opatrenia na ich elimináciu, resp. zmiernenie. Environmentálny akčný program EÚ (7. EAP) zdôraznil skutočnosť, že „EÚ a jej členské štáty by mali čo najskôr zohľadniť aj to, že otázky kvality pôdy možno riešiť prostredníctvom cieleného a primeraného prístupu v rámci záväzného právneho rámca“.

### **Niekoľko faktov o poľnohospodárskej pôde Slovenska a legislatíve ochrany pôdy**

Podľa najnovšej Štatistickej ročenky o pôdnom fonde v SR na základe údajov katastra nehnuteľností k 1. januáru 2018 (ŠÚ SR 2018) rozloha Slovenska je 49 342 km<sup>2</sup>, z nej poľnohospodárska pôda pokrýva 48,58 % a lesy zaberajú 41,28 %. Údaje sú uvedené v tabuľke 1.

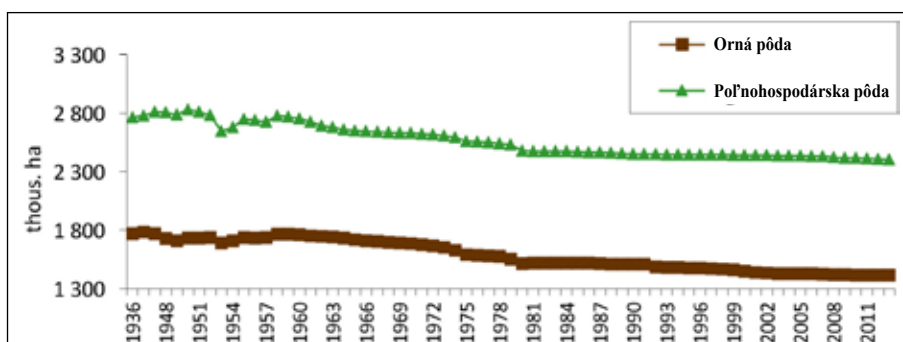
**Tab. 1.** Rozloha Slovenska (Štatistická ročenka o pôdnom fonde SR 2018)

Poľnohospodárske pôdy 2 381 953 ha	48,58 %
Lesné pozemky 2 024 374 ha	41,28 %
Nepoľnohospodárske a nelesné pozemky 497 093 ha 10,14 % z čoho:	
• vodné plochy 95 256 ha	1,95 %
• zastavané plochy a dvory 236 979 ha	4,83 %
• ostatné pozemky 164 858 ha	3,36 %

Kľúčové trendy vo vývoji poľnohospodárskej pôdy na Slovensku sú:

1. Prebiehajúca degradácia pôdy jej intenzívnym využívaním: vodná alebo veterná erózia, pokles organickej hmoty v pôde, zhutňovanie pôdy, nevyvážený režim živín a vody, kontaminácia pôdy, v menšej miere procesy salinizácie/sodifikácie a zosuvy pôdy.
2. Zábery pôd pre nepoľnohospodárske využitie a nepriepustné pokrytie pôdy. Úbytok poľnohospodárskej pôdy nie je fenoménom posledných rokov alebo desaťročí, ale je to dlhodobý trend, ako ilustruje Graf 1.
3. Globálne hrozby (vplyv zmeny klímy, strata biodiverzity, potravinová bezpečnosť, javy sucha a dezertifikácie, atď.)

**Graf 1** Trend vývoja poľnohospodárskej pôdy na Slovensku (1936–2014)



Citujeme Tematickú stratégiu o pôde (COM 2006): „*Degradácia pôdy je vážny problém spôsobovaný ľudskými aktivitami, ako sú nedostatočne uplatňovaný poľnohospodársky a lesnícky manažment, priemyselná činnosť, cestovný ruch, urbanizácia, expanzia priemyslu a stavebná činnosť*“. Na Slovensku na základe výsledkov monitorovania poľnohospodárskych pôd (KOBZA *et al.* 2014) evidujeme takmer 38 % poľnohospodárskej pôdy potenciálne ohrozenej vodnou eróziou a 7 % poľnohospodárskej pôdy potenciálne ohrozenej veternou eróziou. Okrem toho je v súčasnosti evidovaných 200 000 ha zhutnenej poľnohospodárskej pôdy a 500 000 ha náchylnej na zhutnenie, ďalej približne 3 000 ha slaných pôd (predtým využívaných ako orná pôda) a takmer 20 000 ha znečistených pôd (predovšetkým antropogénne). Obsah organickej hmoty v pôde sa udržiava na súčasnej úrovni charakteristickej pre typ pôdy a jej využitie, pričom na ornej pôde sa v porovnaní s trvalými trávnyimi porastmi zaznamenávajú výrazne nižšie hodnoty pôdneho organického uhlíka. Nedostatok organických hnojív pre ornú pôdu má pôvod vo výraznej redukcii chovu hospodárskych zvierat v posledných 20–25 rokoch, pričom dochádza k strate dostupných živín, najmä fosforu a draslíka.

#### **Legislatíva ochrana pôdy na Slovensku**

Ochrana poľnohospodárskej pôdy je v SR od júna 2017 zakotvená už v základnom zákone štátu – v Ústave Slovenskej republiky. V druhej hlave, šiesty oddiel čl. 44 (odseky 4, 5) Ústavy SR sa uvádza:

(4) Štát dbá o šetrné využívanie prírodných zdrojov, o ochranu poľnohospodárskej pôdy a lesnej pôdy, o ekologickú rovnováhu a o účinnú starostlivosť o životné prostredie a zabezpečuje ochranu určeným druhom voľne rastúcich rastlín a voľne žijúcich živočíchov.

(5) Poľnohospodárska pôda a lesná pôda ako neobnoviteľné prírodné zdroje požívajú osobitnú ochranu zo strany štátu a spoločnosti.

Touto zmenou Ústavy SR sa jednoznačne deklaruje, že ochrana pôdy je významným štátnym záujmom.

Základným právnym predpisom, upravujúcim podmienky ochrany a využívania poľnohospodárskej pôdy v SR je zákon č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov. Tento zákon bol počas platnosti 8-krát novelizovaný, pričom najvýznamnejšie zmeny predstavovali nasledovné novelizácie:

- Zákon č. 219/2008 Z. z., ktorou boli s účinnosťou od 01.01.2009 opätovne zavedené odvody za odňatie poľnohospodárskej pôdy, pričom odvody sa platili za pôdy zaradené do prvých 4 skupín kvality podľa kódu BPEJ (po zrušení odvodov v roku 2004 sa tieto neplatili do r. 2008). Tento koncept chránil 21 % najkvalitnejšej poľnohospodárskej pôdy (Obr. 1).
- Zákon č. 57/2013 Z. z., ktorým sa zásadným spôsobom mení prístup k ochrane najkvalitnejších poľnohospodárskych pôd, zavádza sa povinnosť platiť odvod za najkvalitnejšiu pôdu v každom konkrétnom katastrálnom území podľa kódu BPEJ. Tento koncept chráni 37 % poľnohospodárskej pôdy rôznej kvality (Obr. 2).

- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 58/2013 o odvodoch za odňatie a neoprávnený záber poľnohospodárskej pôdy.
- Zákon č. 34/2014 Z.z., ktorým sa zavádza osobitná ochrana viníc.

V zákone o ochrane pôdy (220/2004 Z.z.) je niekoľko paragrafov zásad udržateľného využívania, manažmentu a ochrany poľnohospodárskej pôdy:

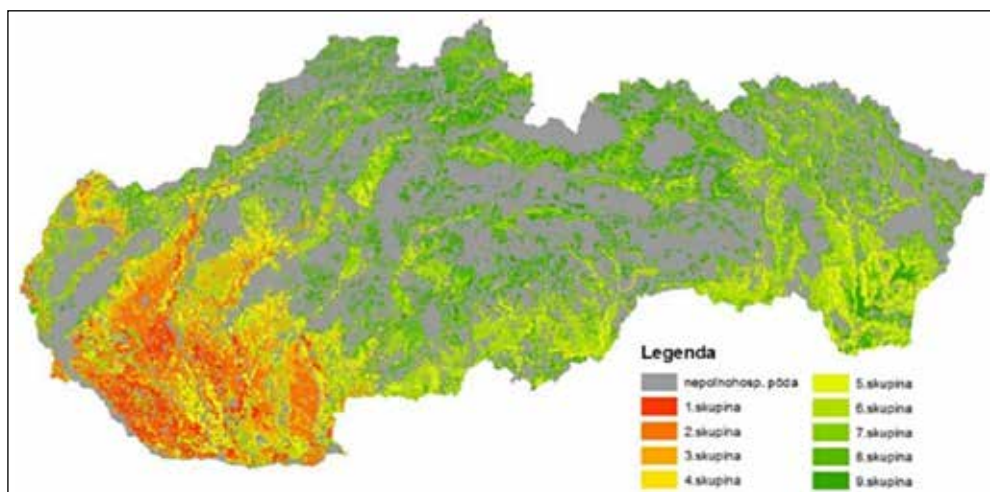
§ 5 chráni poľnohospodársku pôdu pred eróziou

§ 6 chráni poľnohospodársku pôdu pred zhutnením

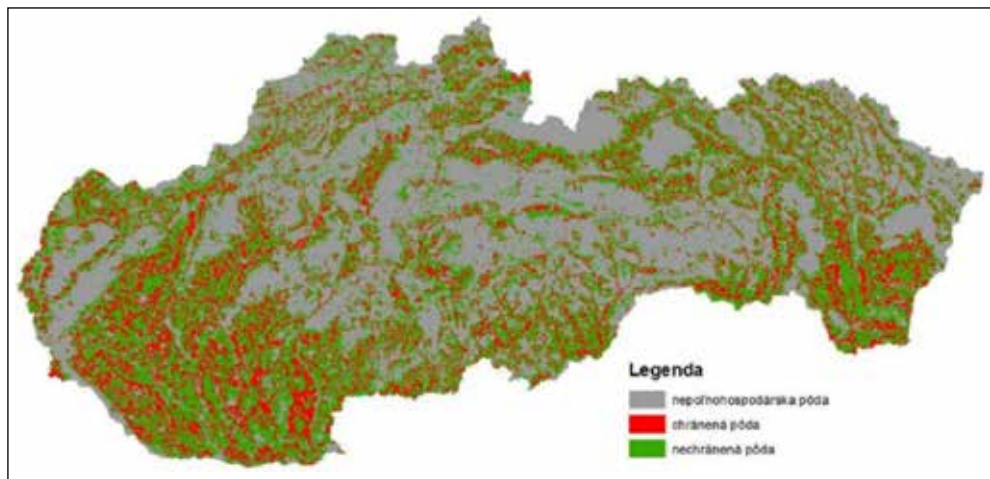
§ 7 zavádza princípy bilancie pôdnej organickej hmoty

§ 8 chráni poľnohospodársku pôdu pred rizikovými látkami.

**Obr. 1.** Chránené územie pred zábermi podľa zákona č. 219/2008 Z.z. (Pôdny Portál VÚPOP Bratislava) – stupne kvality poľnohospodárskej pôdy



**Obr. 2.** Chránené územie pred zábermi podľa zákona č. 57/2013 Z.z. (Pôdny Portál VÚPOP Bratislava) – stupne kvality poľnohospodárskej pôdy



Súčasná legislatíva o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy je relatívne moderná, komplexná a široko koncipovaná. Ochrana pôdy je založená na prepracovanom systéme odvodov. Má však aj určité nedostatky, preto je zákon potrebné zdokonaľovať a prepracovať tak, aby bol nekompromisný a orgánom ochrany pôdy poskytol rozsiahle kompetencie.

### ***Klimatická zmena a agrosektor***

V kontexte s Tematickou stratégiou o ochrane pôdy Európskej únie (COM 2006) bolo identifikovaných niekoľko hrozieb pre pôdu, ktoré sú spojené s dôsledkami klimatickej zmeny: dopad na biogeochemické cykly pôdy, ktoré ovplyvňujú jej úrodnosť, zmeny v bilancii živín, dostupnosť vody v pôde a zmeny režimu vlhkosti v dôsledku extrémnych poveternostných podmienok. Znižovanie obsahu alebo množstva organických látok v pôde je dôsledkom týchto hrozieb, ktoré sú spôsobené aj zlou poľnohospodárskou praxou. Účinky klimatických zmien na pôdu môžu viesť k celkovému zníženiu úrodnosti pôdy a poľnohospodárskej výroby, k poklesu biodiverzity, erózii pôdy, deštrukcii pôdnej štruktúry, zintenzívneniu dezertifikačných procesov a narušeniu hydrologického cyklu (MŽP SR 2018).

Poľnohospodárstvo je veľmi citlivé odvetvie, ktoré závisí od počasia a klimatických podmienok. Zmena klímy a extrémne poveternostné udalosti (suchá, mrazy, povodne) budú v posledných desaťročiach predstavovať čoraz častejší jav. Agrosektor sa preto musí tomuto javu prispôbiť, najmä preto, že klíma je neoddeliteľnou súčasťou poľnohospodárskeho podnikania na všetkých úrovniach riadenia.

Vo všeobecnosti sa predpokladá zvýšenie priemernej ročnej teploty vzduchu na celom území Slovenska, avšak bude regionálne diferencované. Predpovedá sa aj zvýšený výskyt extrémnych javov počasia: obdobia sucha sa budú striedať so silnými zrážkami. Vplyv zápornej bilancie zrážok sa očakáva od mája do októbra, najviac v auguste. Predpokladá sa posun klimatických regiónov zo 400 m na 700 m nadmorskej výšky, to znamená, že suchá a teplá klíma sa bude vyskytovať vo vyšších geografických polohách. To bude znamenať zmenu vhodnosti zón pre pestovanie plodín, resp. zmeny striedania plodín. Zrýchlený nástup vegetačného obdobia a oneskorenie jeho ukončenia je možné badať už teraz. Predpokladá sa, že bude pôsobiť severojužný smer prúdenia atmosférických mäs, ktorý zmení predstavy o vplyve západného oceánskeho prúdenia na územie strednej Európy. Postupne sa budú meniť štyri ročné obdobia, ktoré prejdú do dvoch období: zimy a leta (ŠÍŠKA, TAKÁČ 2008).

V súvislosti s pôdnymi podmienkami možno očakávať niektoré nové javy:

- Zvýšenie akumulácie organických látok v pôde v dôsledku vyššej koncentrácie CO<sub>2</sub> a zvýšenej teploty vzduchu. Skleníkový efekt zvýši rastový index, ako aj efektívnosť využívania vody vegetáciou.
- Zvýšená evapotranspirácia a akumulácia organických látok v pôde bude zvyšovať mikrobiálnu aktivitu. Tento scenár sa uplatní vtedy, keď bude k dispozícii dostatočná zásoba pôdnej vody, t.j. hlavne v severnej polovici Slovenska.
- Očakávaná aridizácia (vysušovanie) pôdneho profilu, zvýšené prevzdušňovanie a oxidácia pôdneho materiálu budú viesť k rýchlejšiemu rozkladu pôdnej organickej hmoty (mineralizácia). Fenomény aridizácie bude možné pozorovať najmä v južnej polovici Slovenska približne do 400 m n.m.

- Zvýšenie mineralizácie podzemných vôd, najmä v nížinných oblastiach juhozápadného Slovenska, bude podmieňovať zvýšenie salinizácie a alkalizácie pôd v depresných územiach v hladinách podzemných vôd blízkyh k povrchu.
- Predpovedané účinky náhlych a intenzívnych búrok by sa mali prejavíť v oblastiach náchylných na vodnú a veternú eróziu.

## MATERIÁL A METÓDY

V príspevku sú prezentované niektoré vedecké výstupy, ktoré sa zaoberali predikciou viacerých dopadov klimatických zmien na agrosektor. Ak chceme úspešne riešiť tento problém, je potrebné vedecky pracovať na prognózach, scenároch a modeloch. Základnými predpokladmi pre simuláciu a modelovanie sú kvalitné databázy o klimatologických údajoch, produkcii plodín, vlastnostiach pôdy, uplatnenej agrotechnike a manažérskych opatreniach.

Boli použité tieto modely, resp. indexy:

### *Indikátor sucha SPI*

Tento indikátor sucha založený na odchýlkach od zrážok z dlhodobých normálnych hodnôt zahŕňa štandardizovaný index zrážok (SPI) (McKee *et al.* 1993). Jeho výpočet vychádza z údajov o dlhodobých zrážkach za obdobie najmenej 30 rokov. SPI je definované ako

$$SPI = Z - \underline{Z} / \sigma,$$

kde  $Z$  je celkové množstvo zrážok [mm] v priebehu hodnoteného obdobia,  $\underline{Z}$  je dlhodobé priemerné množstvo zrážok [mm] počas daného obdobia a  $\sigma$  je štandardná odchýlka zrážok za dané obdobie.

Štandardizované hodnoty SPI sú:  $>2$  pre extrémne vlhké obdobie;  $1,5 - 1,99$  pre veľmi vlhké obdobie;  $1 - 1,49$ ;  $-0,99 - 0,99$  pre normálne obdobie;  $-1 - -1,49$  pre obdobie sucha;  $-1,5 - -1,99$  pre veľmi suché obdobie; a  $<-2$  pre extrémne suché obdobie.

### *Agroekologický model DAISY*

Model sa zaoberá hodnotením vplyvu zmeny klímy na rastlinnú výrobu. Ide o jednorozmerný agroekosystémový model založený na numerických simuláciách s využitím údajov o poľnohospodárskom manažmente a údajoch o počasí; simuluje rast plodín, vodný režim, tepelný režim, bilanciu organickej hmoty a dynamiku dusíka v poľnohospodárskych pôdach. V rámci hydrologického cyklu môžu byť modelované procesy akumulácie a topenia snehovej pokrývky, zachytávania, odparovania, infiltrácie, povrchového odtoku, prietoku vody v matici pôdy, prietoku v makropóroch a drenážnych trubiciach. Model simuluje teplotu pôdy, zamrzanie a eróziu pôdy, ako aj transportné, sorpčné a transformačné procesy. Osobitný dôraz je kladený na režim dusíka v agroekosystémoch. Rastlinná výroba zahŕňa simulovaný rast a vývoj rastlín, vrátane akumulácie sušiny a dusíka v rôznych častiach rastliny. Popis modelu, jeho konštrukcia a algoritmy sú prezentované v publikáciách HANSENA (2000) a ABRAHAMSEN & HANSEN (2000).

### *Model RothC-26.3*

Modelovanie pôdneho organického uhlíka je založené na modeli RothC-26.3 (COLLEMAN & JENKINSON 2005), ktorý bol pôvodne vyvinutý a parametrizovaný na modelovanie obehu

organického uhlíka v ornici z Rothamstedských dlhodobých poľných experimentov. Model RothC-26.3 vyžaduje tri typy údajov:

- klimatické údaje – mesačné zrážky (mm), mesačná evapotranspirácia (mm), priemerná mesačná teplota vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ );
- údaje o pôde – obsah ílu (%), inertný organický uhlík (IOM), počiatočná zásoba organického uhlíka v pôde (SOC) (t C/ha), uvažovaná hĺbka pôdnej vrstvy (cm);
- údaje o využívaní a hospodárení s pôdou – pokrytie pôdy, mesačné vstupy rastlinných zvyškov (t C/ha), mesačná dávka hnoja z farmy (FYM) (t C/ha), faktor kvality rezíduí (pomer DPM/RPM).

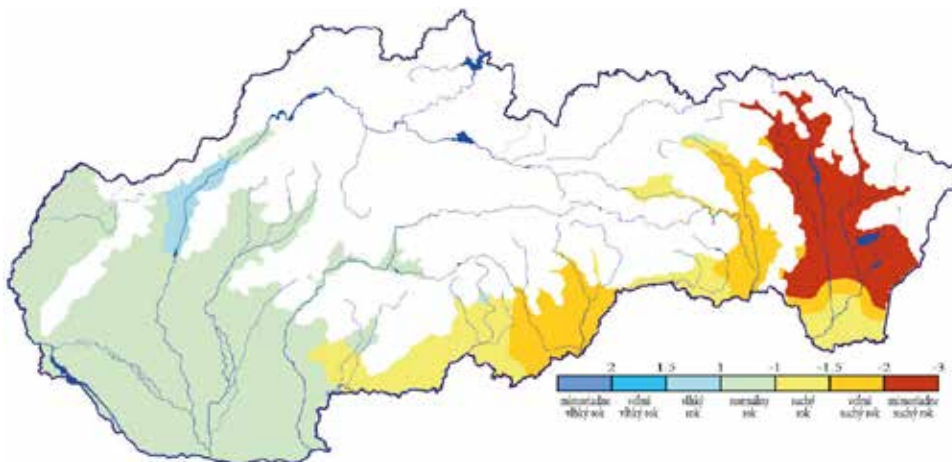
Ďalšie podrobnosti o modeli RothC možno získať z práce BARANČÍKOVEJ *et al.* (2012) alebo z webovej stránky GCTE SOMNET.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### *Sucho v pôde*

Sucho v pôde je problémom nedostatku vody v pôdnom telese, ktorý spôsobuje nielen vážnu a zložitú situáciu v manažmente pôd, ale vyvoláva aj viacero nepriaznivých degradačných procesov v krajine. Sucho na Slovensku má v podstate regionálny charakter a jeho dôsledky sa odlišujú rozsahom postihnutého územia. Negatívne účinky sucha na pôdu možno označiť ako: zhoršovanie pôdnej štruktúry a fyzikálnych vlastností pôdy, čo vedie k zhutňovaniu pôdnych vrstiev (najmä v zasolených pôdach), postupné znižovanie organickej hmoty v pôde, v prípade dlhodobého obdobia sucha spomaľovanie tvorby alebo zhoršovanie stability pôdnej štruktúry, k aridizácii krajiny vedúcej až k dezertifikácii. V príspevku sú prezentované tri prípady výskytu sucha na Slovensku. Mapy sucha boli vytvorené podľa štandardizovaného indexu zrážok (SPI) (TAKÁČ, 2015). V roku 1961 bolo pozorované obdobie sucha na Východoslovenskej nížine (Obr. 3).

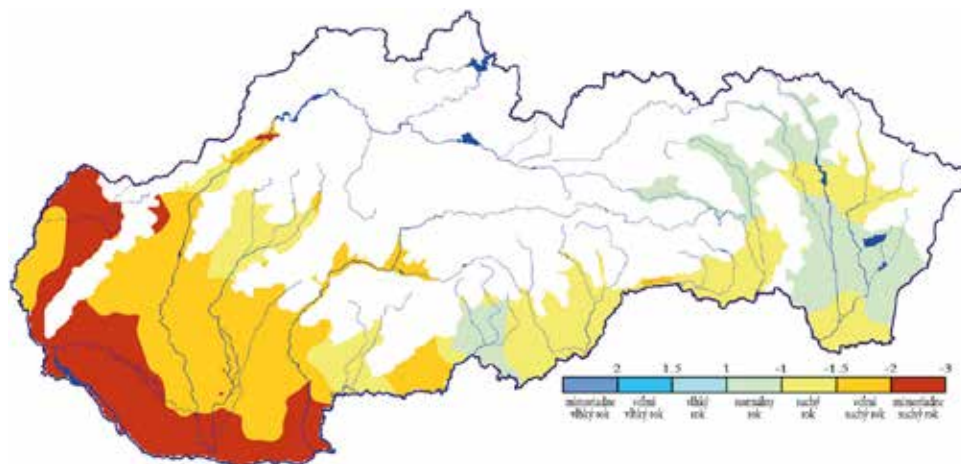
**Obr. 3.** Obdobie sucha v r. 1961 (In: Takáč 2015. Sucho v poľnohospodárskej krajine)



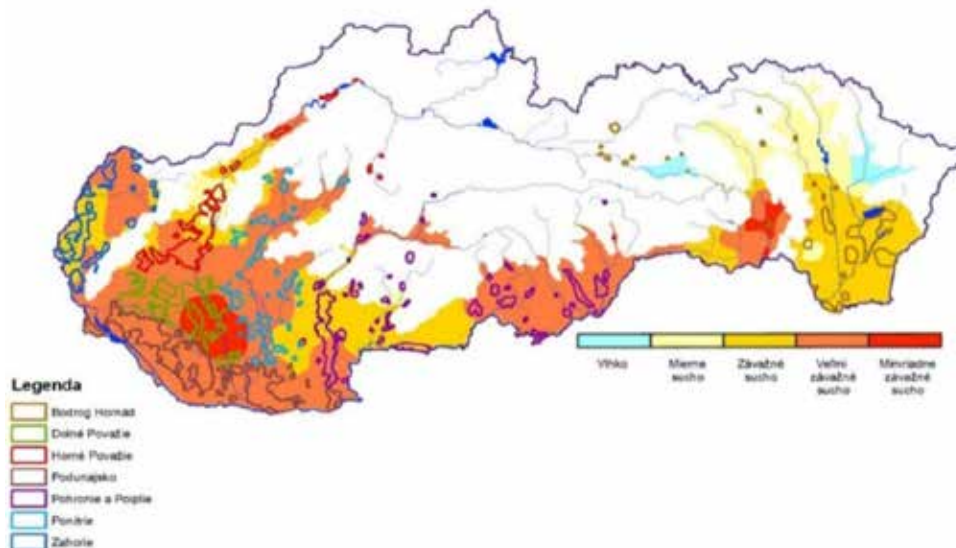


Dôkazy o tom, že sucho v podmienkach Slovenska má výrazne regionálny charakter, možno vidieť na Obr. 4 a 5. Územie Podunajskej nížiny je v poslednom desaťročí takmer pravidelne postihované suchom, čo možno pripísať vplyvu klimatickej zmeny.

**Obr. 4.** Obdobie sucha v r. 2003 (In: Takáč 2015. Sucho v poľnohospodárskej krajine)



**Obr. 5.** Obdobie sucha v r. 2013 (In: Takáč 2015. Sucho v poľnohospodárskej krajine)



V posledných desaťročiach sa sucho na Slovensku pozorovalo v rokoch 1992, 1993, 2000, 2003, 2009, 2011, 2012, 2013, 2017. Sucho je vnímané ako najvýznamnejší stresový faktor v rastlinnej výrobe. Napriek neustálemu technologickému pokroku, výnosy plodín závisia rozhodujúcim spôsobom od počasia, najmä od množstva a rozloženia atmosférických zrážok. Variabilitu výnosov v jednotlivých rokoch a v regiónoch významne ovplyvňuje vodný režim

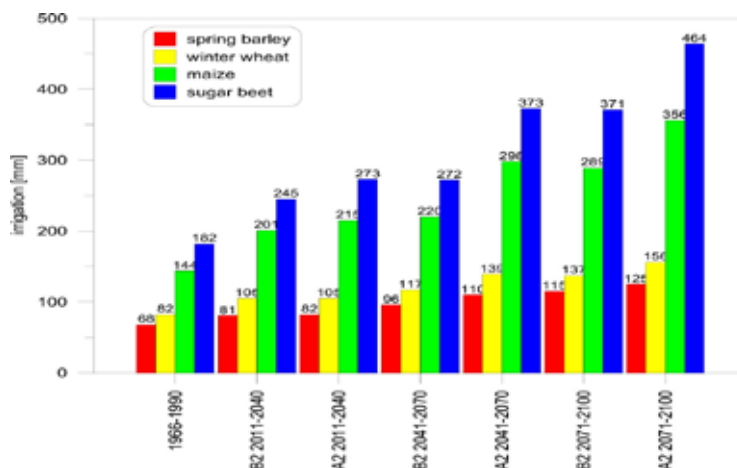
pôdy, ktorý počas vegetačného obdobia závisí od množstva zrážok a napríklad aj od výskytu vln horúčav. Veľký význam sa pripisuje zimnému zásobeniu pôdy vodou.

V nížinách Slovenska sa pravidelne vyskytujú dlhšie obdobia sucha, v podhorských oblastiach a v kotlinách býva trvanie sucha kratšie. Všeobecne platí, že výskyt a trvanie suchých období klesá od juhu na sever a od západu na východ. Táto geografická zonalita býva čiastočne narušená odlišnou retenčnou kapacitou pôdy. Aj posunutie suchých a vlhkých období nezodpovedá historickému kalendárnemu cyklu. Závažnosť sucha sa znásobuje vtedy, ak sucho nastalo aj v predchádzajúcom roku. Informačný systém o suchu môže byť vhodným operačným nástrojom na revíziu existujúcich a vytváranie nových technických a strategických opatrení, ako aj na prípravu adaptačných opatrení na zmenu klímy a boj proti dezertifikácii krajiny.

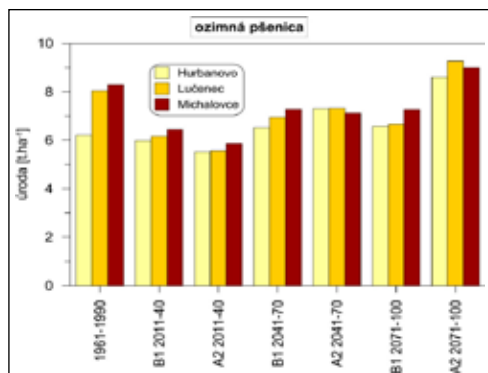
Ako najzraniteľnejšie regióny boli identifikované nížiny na juhozápade Slovenska. Častejšie suchá sa stávajú obmedzujúcim faktorom pre poľnohospodárstvo aj v oblastiach, kde sa sucho vyskytuje len príležitostne. Potreba zavedenia zavlažovacích opatrení je naozaj zrejmá. Nízka úroveň zavlažovania je v súčasnosti limitujúcim faktorom v boji proti suchu na Slovensku. Podľa modelu sa potreba závlahovej vody v období rokov 1991–2013 v porovnaní s rokmi 1961–1990 zvýšila. Avšak je overenou skutočnosťou, že dodávka závlahovej vody od roku 1990 do roku 2010 klesla z 297 mil. m<sup>3</sup> na 6 mil. m<sup>3</sup>. Tento fakt sa interpretuje zastaranými a devastovanými zavlažovacími zariadeniami a ich nedostatočným využívaním. Rozšírenie zavlažovacích systémov sa v súčasnosti považuje za najúčinné adaptačné opatrenie na zmiernenie negatívnych účinkov zmeny klímy. Bez existencie funkčných zavlažovacích štruktúr bude v budúcnosti produkcia plodín vystavená riziku. Na Grafe 2 je možné vidieť scenáre potreby dodávky závlahovej vody podľa modelu DAISY – simulácie podľa emisných scenárov SRES A2, B2. Simulovali sa tri plodiny: jarný jačmeň, kukurica ozimná a cukrová repa (TAKÁČ *et al.* 2011). Výstupy zaznamenali rastúcu potrebu zásobovania vodou o 10–50 % do roku 2100, najmä v letných mesiacoch vegetačného obdobia. Do zvýšenia variability dodávky závlahovej vody sa zarátava aj skorší a neskorší nástup zavlažovacej sezóny.

Na grafe 3 sú prezentované prognózy výnosov pšenice ozimnej v lokalitách Hurbanovo, Lučenec a Michalovce do roku 2100 (podľa modelu DAISY a emisných scenárov SRES A2, B1). Výstupy modelovania zaznamenali určitý pokles poľnohospodárskej produkcie do roku 2050, po roku 2050 sa očakáva výraznejší rast poľnohospodárskej produkcie. Predpokladá sa, že v dôsledku hnojenia a vplyvom atmosférického CO<sub>2</sub> sa poľnohospodárska produktivita zintenzívni a zvýši. Podobné výsledky možno vidieť na grafe 4 v rámci simulácie jačmeňa jarného podľa DAISY.

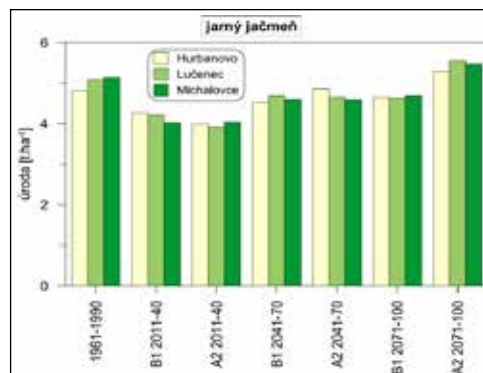
**Graf 2.** Variabilita potreby závlhovej vody podľa scenárov SRES A2, B2 (In: Takáč, Nováková, Šiška 2011. *Climate Change Impact on Irrigation Need of Field Crops on Danubian Lowland*)



**Graf 3.** Prognóza úrod – ozimná pšenica (In: Takáč, Šiška, Nováková 2011)



**Graf 4.** Prognóza úrod – jarný jačmeň (In: Takáč, Šiška, Nováková 2011)



Analýzovaný sa dopad klimatických zmien z hľadiska rôznych agroekologických podmienok Slovenska: Podunajská nížina, Východoslovenská nížina a Liptovská kotlina ako podhorská oblasť. Na základe výsledkov simulácie režimu pôdnej vlhkosti (emisné scenáre SRES A2 a SRES B2) možno konštatovať, že vo vegetačnom období v podmienkach klimatickej zmeny je možné očakávať zníženie obsahu vody v pôde a predĺženie ročných období s vlhkosťou pôdy nižšou ako 50% VVK (veľmi nízka vlhkosť) vo všetkých regiónoch. Výsledky simulácie potvrdili očakávané zrýchlenie vývoja poľných plodín v dôsledku zvýšenia teploty vzduchu a koncentrácie CO<sub>2</sub> v atmosfére. Zavlžovanie sa ukázalo ako významný stabilizačný faktor pre výnosy plodín. Simulované obmedzenie zavlžovania počas 10-dňového intervalu sa ukázalo ako dostatočné na zabezpečenie stabilizácie plodiny, avšak nebolo dosiahnuté plné využitie interakcie závlah s fertilizačným účinkom atmosféry.

Treba poznamenať, že vybudovanie informačného systému o suchu môže byť vhodným operačným nástrojom na revíziu existujúcich a vytváranie nových technických a strategických opatrení, ako aj na prípravu adaptačných opatrení na zmenu klímy a boj proti dezertifikácii krajiny.

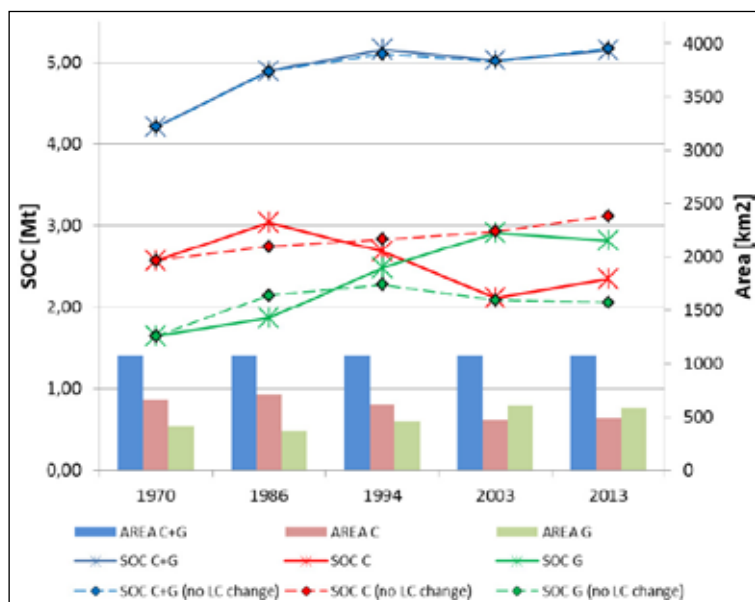
### ***Pôdna organická hmota***

Pôdna organická hmota (POH), založená na obsahu organického uhlíku v pôde, je rozhodujúcim faktorom pre optimálne fungovanie produkčných aj mimoprodukčných (ekologických) funkcií pôdy. Naše výsledky získané pred viac ako 10 rokmi jasne ukázali, že aplikovaním súčasných organických vstupov uhlíka na poľnohospodársku pôdu Slovenska a za predpokladu relatívne rýchleho nárastu teploty v budúcom období bude úroveň zásob POH klesať. To znamená, že klimatické podmienky, najmä teplota, sú významným parametrom ovplyvňujúcim vývoj pôdneho organického uhlíka. Zvýšenie teploty spôsobí zrýchlenie rozkladu POH, to znamená, že procesy mineralizácie organických látok v pôde budú prevažovať nad procesmi humifikácie (WEBB *et al.* 2003).

SKALSKÝ, BARANČÍKOVÁ *et al.* (2017) prezentovali výskumy odhadu zásob pôdneho organického uhlíka (POC) v regionálnom meradle. Aplikoval sa model RothC pre obdobie rokov 1970–2013 konkrétne na území Ondavskej pahorkatiny. Študovali sa zmeny krajiny pokrývky a jej využitia v ornej pôde, na trvalom trávnom poraste a naopak. Riešila sa aj rôzna intenzita manažmentu ornej pôdy a trvalých trávnych porastov v jednotlivých časových obdobiach. Analyzoval sa časový vývoj zásob POC [ $t \cdot ha^{-1}$ ] počas simulačného obdobia 1970–2013 samostatne pre a) ornú pôdu, b) trvalé trávne porasty a c) priemerné trajektórie hustoty POC v ornej pôde spolu s TTP (Graf 6). Zaznamenali sa príčiny zmien uhlíkových vstupov v rokoch 1970–2013 a kalkulovala sa rozloha ornej pôdy a trvalých trávnych porastov (Graf 5):

- Orná pôda:  
1970–1990 – poľnohospodárstvo s nízkymi vstupmi, nesprávne striedanie plodín;  
1991–2013 – poľnohospodárstvo s vysokými vstupmi, správne striedanie plodín (vyššia produkcia plodín s vysokými emisiami uhlíka)
  - Trvalé trávne porasty:  
1970–1990 – rastúci počet pasúcich sa zvierat,  
1991–2013 – zníženie počtu pasúcich sa zvierat.
-

**Obr. 5.** Vývoj zásob organického uhlíka (SOC) a využitia pôdy (C – orná pôda, G – trvalé trávne porasty) a zmeny v krajinnej pokrývke v regióne Ondavskej vrchoviny



Počas sledovaného obdobia 1970–2013 v Ondavskej pahorkatine boli zistené významné zmeny v krajinnej pokrývke a v obhospodarovaní pôdy. Zaznamenalo sa zníženie plochy ornjej pôdy zo 61 % na súčasných 45 % celkovej plochy na úkor nárastu plochy trvalých trávnych porastov.

Výsledky modelovania ukázali:

- v prvom monitorovacom období (1970–1990) bol vstup C na trávnych porastoch výrazne vyšší v porovnaní s ornou pôdou (intenzívne pasienie);
- v prvom monitorovacom období (1970–1990) bolo evidované zvýšenie SOC na trvalom trávnom poraste a pri konverzii ornjej pôdy na pasienky;
- v druhom sledovanom období (1991–2013), najmä po roku 2000, sa orná pôda vyznačuje vysokým vstupom C z hľadiska jeho zásob pri správnom využívaní pôdy.

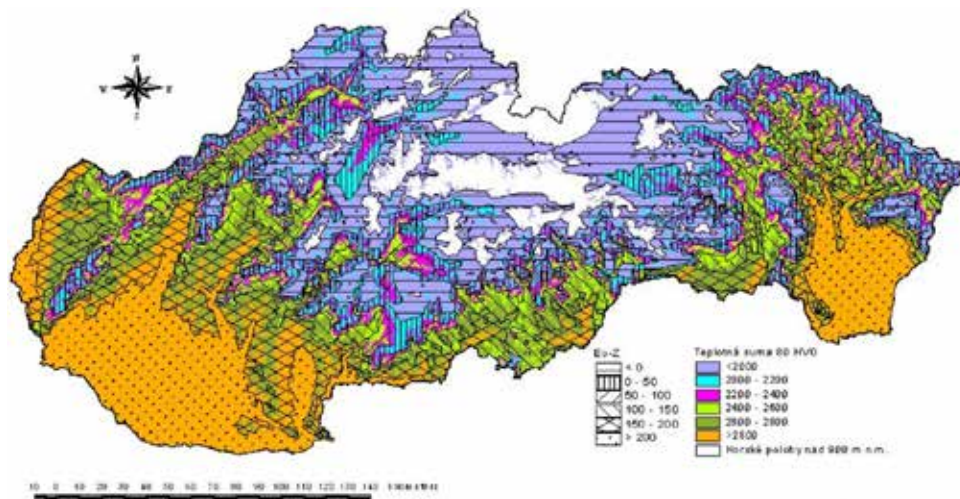
#### **Nová agroklimatická regionalizácia**

Nová agroklimatická regionalizácia bezprostredne súvisí s klimatickými zmenami a je jednou z úloh súvisiacich s rozvojom novej koncepcie systému pôdno-ekologických jednotiek (BPEJ), ktoré sú základom súčasnej legislatívy ochrany pôdy. Má zohľadniť zvýšené požiadavky na presnosť údajov pôdnych atribútov z hľadiska prehodnotenia a výpočtu produkčného potenciálu poľnohospodárskych plodín. Druhá časť je zameraná na analýzu vývoja klímy v období rokov 1961–2015 so zameraním na inováciu klimatických regiónov. Predstavujeme čiastkové výsledky riešenia, ktoré by mali vyústiť do novej agroklimatickej regionalizácie a budú súčasťou prehodnotenia BPEJ.

Súčasná agroklimatická regionalizácia (Obr. 6) bola vytvorená na základe údajov para-

metrov  $TS^{10}$  a  $E^0-Z$  z rokov 1961 – 1990: klimatické údaje (súčet priemerných denných teplôt  $\geq 10^\circ C$ , priemerné ročné teploty vzduchu, priemerné teploty vzduchu vo vegetačnom období a priemerné ročné zrážky). Nové klimatické regióny boli riešené na základe databázy z rokov 1991 – 2016 a klimatických parametrov: potenciálnej bilancie zrážok vo vegetačnom období (s prihliadnutím na sucho), priemerov vypočítaných z ročnej absolútnej teploty vzduchu (s prihliadnutím na pravdepodobnosť predpovede). Tento výpočet umožní komplexnejšiu charakterizáciu súčasných klimatických podmienok s využitím najnovších klimatologických údajov.

**Obr. 6.** Súčasná agroklimatická regionalizácia (Pôdny portál VÚPOP)



Suma teplôt v vegetačnom období – zvýšenie teploty vzduchu za posledné desaťročia sa prejavilo v dlhšom trvaní vegetačného obdobia a vyššom súčte teplôt. Suma teplôt vegetačného obdobia presahujúca  $3000^\circ C$  bola evidovaná za obdobie 1991 – 2016 na 45 % sledovaného územia, kým v období 1961 – 1990 to bolo len 19% územia. Túto diferenciáciu možno vidieť na obrázkoch 7 a 8.

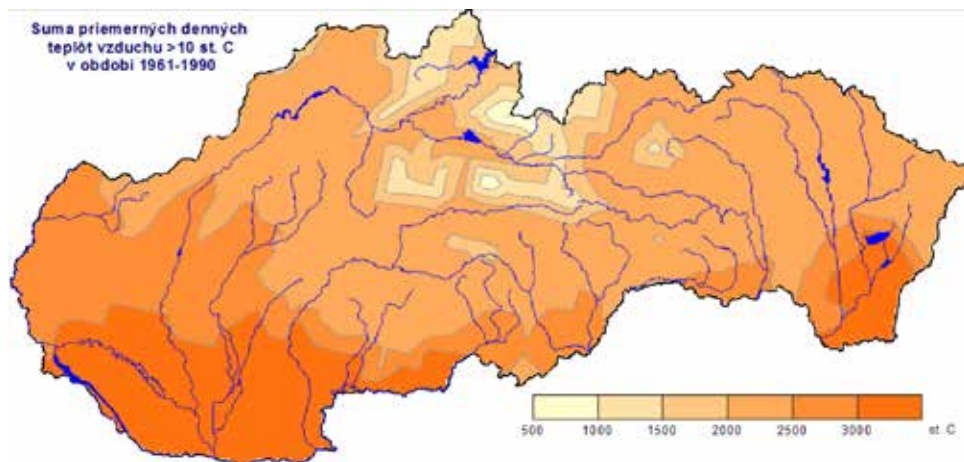
Deficit bilancie vody - tento parameter v najteplejších regiónoch v letných mesiacoch presahuje 250 mm. Najvyšší nárast deficitu vodnej bilancie bol zaznamenaný na nížinách Slovenska, čo bolo spôsobené zvýšením potenciálnej evapotranspirácie (ako dôsledok zvýšenia teploty) v období 1991 – 2016 oproti obdobiu 1961 – 1990 (Obr. 9 a 10).

Tieto čiastkové výsledky budú slúžiť ako nový dôkaz pre implementáciu novej agroklimatickej regionalizácie na národnej úrovni, napr. pre kód BPEJ (Takáč, Bezák, Ilavská, 2017).

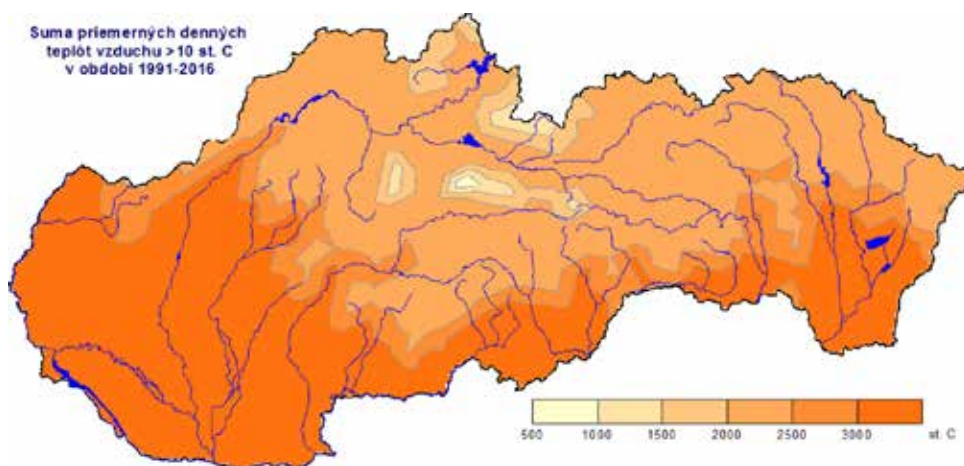
#### **Adaptačné opatrenia**

V súlade s dokumentmi OSN vydanými v ostatných rokoch (UN 2015) udržateľné hospodárenie s prírodnými (pôdnymi) zdrojmi je na celom svete prioritizované a veľmi odporúčané (HENRY, MURPHY, COWIE 2018). Aj Slovenská republika je vyzvaná uplatňovať zásady Agendy 2030 z roku 2015 na národnej úrovni a podávať správy o dosiahnutom pokroku. V poľnohospodárstve sa tento záväzok týka najmä ochrany a zachovania prírodných (pôdných, vodných a biologických) zdrojov pre budúce generácie.

**Obr. 7.** Suma priemerných denných teplôt  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  v rokoch 1961 – 1990 (In: Takáč, Bezák, Ilavská, 2017)



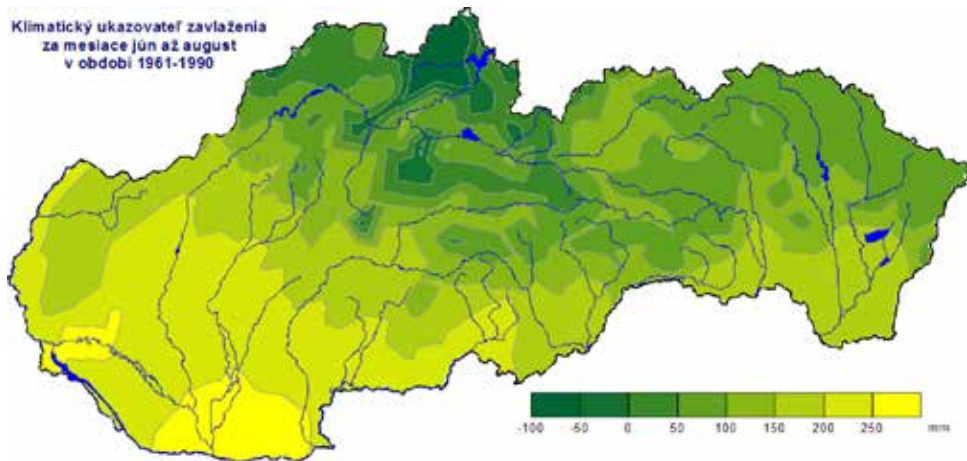
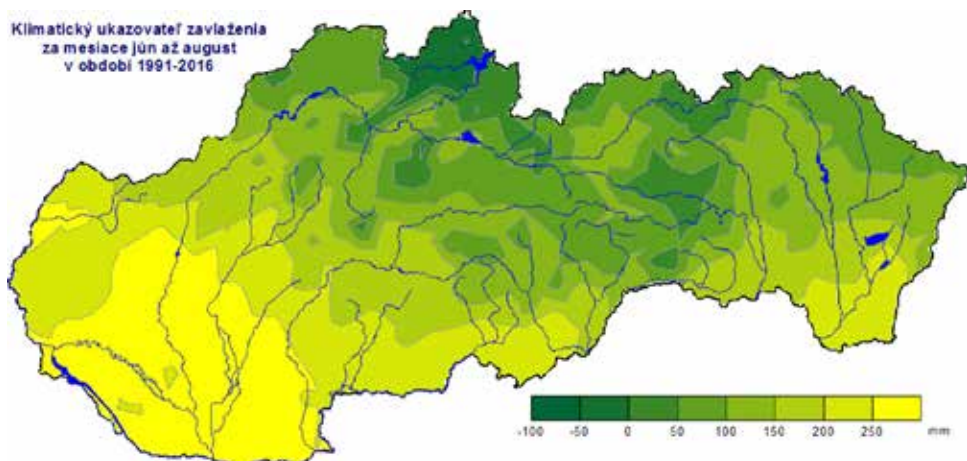
**Obr. 8.** Suma priemerných denných teplôt  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  v rokoch 1991 – 2016 (In: Takáč, Bezák, Ilavská, 2017)



Treba spomenúť, že klimatické zmeny majú svoj vplyv v mnohých odvetviach hospodárstva, najmä v poľnohospodárskom sektore, keďže tento sektor (produkcia potravín) priamo závisí od klimatických podmienok. Ochrana pôdy a udržateľné hospodárenie na pôde by sa mali stať nevyhnutnou súčasťou adaptácie vidieka na nové podmienky klimatickej zmeny. Realizáciou opatrení procesu adaptácie môže byť zníženie rizík a škôd vyplývajúcich zo súčasného využívania prírodných zdrojov, ktoré v mnohých prípadoch prebiehajú nesprávnymi spôsobmi.

Možnosti manažmentu zmeny klímy sú:

- Zabrániť degradácii pôdy realizáciou udržateľného obhospodarovania pôdy,
- Prijatť prístup udržateľného manažmentu v stratégiách, politikách a smerniciach na všetkých úrovniach riadenia,

**Obr. 9.** Klimatický index zavlaženia v rokoch 1961 – 1990 (In: Takáč, Bezák, Ilavská, 2017)**Obr. 10.** Klimatický index zavlaženia v rokoch 1991 – 2016 (In: Takáč, Bezák, Ilavská, 2017)

- Zvyšovať povedomie o význame a funkciách pôdy pre užívateľov a vlastníkov poľnohospodárskych pozemkov,
- Podporovať výskum a vývoj.

Napríklad jedným z cieľov udržateľného manažmentu a využívania pôdy je zabezpečiť, aby poľnohospodárska pôda neemitovala organický uhlík do atmosféry a neprispievala tým k tvorbe skleníkových plynov, ale skôr ho uchovávala v pôde. Z tohto hľadiska má pôda ako rezervoár skleníkových plynov mimoriadny význam. Pri nástupe meniacich sa klimatických podmienok je potrebné vyvinúť optimálne modely využívania poľnohospodárskej pôdy na zachovanie alebo zvýšenie zásob organického uhlíka v pôde. Vo všeobecnosti stratégie, ktoré potenciálne zvyšujú zásoby POH v intenzívne obhospodarovaných pôdach, zahŕňajú zmenu krajinej pokrývky a zmenu vo využívaní pôdy. Okrem toho sa má uplatňovať optimálne striedanie plodín a správna aplikácia predovšetkým organických hnojív, čo štatisticky významne zvyšuje vstupy



uhlíka do pôdy. Podobne je potrebné zaoberať sa dôsledným uplatňovaním šetrnej technológie ochrany pôdy, charakterizovanej znížením hĺbky a intenzity obrábania pôdy, ponechávaním zvyškov predplodín alebo medziplodín na povrchu alebo v povrchovej vrstve pôdy.

Ďalším príkladom je zavedenie integrovaného hospodárenia s pôdou, vodou a biomasou, ktoré v podmienkach Slovenska nie je bežnou praxou. Sme presvedčení, že otázky klimatických zmien by mohli predstavovať spoločnú platformu integrujúcu hydrologický, pôdny a biologický prieskum spolu s lesom a vidieckou krajinou. Potrebné sú niektoré predpoklady:

- potreba rozvíjať integrovaný prístup k riadeniu a ochrane vodných, pôdnych a biologických zdrojov v poľnohospodárskej a lesnej pôde udržateľným spôsobom,
- vytvorenie harmonizovaných a georeferencovaných databáz umožňujúcich modelovanie, scenáre, predpovede atď.,
- rozvoj nástrojov vedy a výskumu (analytických a syntetických) a podpora spoločných výskumných riešení,
- prekonať rezortný (t.j. individuálny) prístup riešenia.

Očakáva sa, že v boji proti erózii pôdy a ostatným degradačným činiteľom ako aj suchu sa budú uplatňovať komplexné opatrenia, ktoré môžu zmierňovať ich viacnásobné účinky. Vplyvy klimatických zmien na produkciu fytomasy v regiónoch Slovenska sú uvedené v práci VILČEKA (2009). Implementácia adaptačných opatrení v poľnohospodárstve je prezentovaná v publikácii SOBOCKÁ *et al.* (2010) a je nasledovná:

- zmeny vo vlastnom manažmente poľnohospodárskej výroby,
- v prípadoch výskytu degradácie, obnova resp. rekonštrukcia multifunkčnej a ekologickejšie stabilizovanej poľnohospodárskej krajiny,
- podpora zavádzania ekologického poľnohospodárstva na pôde,
- rekonštrukcia veľkosti obrábaných poľnohospodárskych parciel a uplatňovanie osvedčených poľnohospodárskych postupov,
- zmeny v štruktúre pestovaných plodín a odrôd,
- redukcia výmery ornej pôdy v oblastiach náchylných na eróziu pôdy (spolu s manažmentom vodného režimu),
- obnova spustnutých pôd a identifikácia ich nového využitia (napr. poľnohospodársko-lesnícke systémy),
- spracovanie novej agroklimatickej regionalizácie a identifikácia nových poľnohospodárskych výrobných oblastí,
- efektívny manažment sucha (uplatnenie plánov manažmentu sucha s mapami rizika sucha a definícia potenciálne suchej poľnohospodárskej pôdy),
- podpora zachovania a zvyšovania organického uhlíka v pôde,
- zabezpečenie priaznivej vlhkosti pôdy pomocou zavlažovacích opatrení,
- vo všeobecnosti zachovanie pôdy a vody takým spôsobom, aby spĺňali ekosystémové, krajinné, environmentálne a sociálne funkcie,
- zmeny ohľadne zvýšenia povedomia o ochrane a udržateľnom manažmente pôdy a krajiny.

Spoločnú poľnohospodársku politiku (SPP) možno definovať ako účinný politický nástroj,

ktorý podnietil poľnohospodárov k vytvoreniu podmienok udržateľného hospodárenia s pôdnymi zdrojmi predovšetkým vzhľadom k dopadom klimatickej zmeny. SPP zahŕňa niekoľko pilierov:

I. Priame platby na SAPS (režim jednotnej platby na plochu);

II. Realizácia agroenvironmentálnych opatrení ako predpoklad priamych platieb.

Slovensko uplatňuje zoznam prvkov zameraných na životné prostredie (EFA) a monitoring agroenvironmentálnych opatrení. Napríklad slovenskí poľnohospodári si môžu vybrať zo siedmich prvkov, ktoré chránia pôdu a uhlík v poľnohospodárskej krajine: úhor, terasy, nárazníkové pásma, medziplodiny / zelené porasty a striedanie plodín. Sú súčasťou tzv. greeningu, t. j. ozelenenia ako podmienky pre poberanie priamych platieb EÚ.

## ZÁVER

Pestovanie plodín je dané takmer vždy trhovými podmienkami a udržateľné hospodárenie nie je vždy doménou prvoradého významu. Dominancia ekonomického aspektu pred zavádzaním ochranných opatrení je pozorovaná na Slovensku ako dlhodobý trend. Vzhľadom na to, že viac ako 90 % poľnohospodárskej pôdy na Slovensku sa prenajíma od vlastníkov a iba poľnohospodári a užívatelia prichádzajú do styku s pôdou, je potrebné obnoviť vzťah užívateľa k pôde, nakoľko sa postupne stráca. Takáto situácia podporuje neúmerný tlak na poľnohospodársku pôdu, najmä dobrej kvality, nárast rôznych foriem degradácie pôdy a krajiny, čo má za následok nízku kvalitu poľnohospodárskej pôdy a slabé povedomie o životnom prostredí.

Najväčším problémom ochrany pôdy nie sú nastavené legislatívne predpisy alebo nevedomosť, ale nedostatok stimulov a motivácie vlastníkov a používateľov implementovať udržateľný manažment a zachovanie pôdných zdrojov pre budúce generácie. Vo všeobecnosti chýba povedomie o problematike prírodných zdrojov a ich význam a funkcie pôsobiace v prírode. Hlavne dotknuté zainteresované strany sa musia zaoberať novým ekologickým myslením.

Ak zhrnieme všetky fakty, domnievame sa, že pre prispôbenie sa klimatickým zmenám v agrosektore je potrebné zahrnúť opatrenia boja proti klimatickej zmene do plánov a stratégií na všetkých úrovniach riadenia a kontroly. Problematika zachovania pôdných zdrojov a udržateľnej poľnohospodárskej krajiny je najnaliehavejšia úloha v budúcnosti, ktorá sa musí rýchlo realizovať. Jedným z najdôležitejších spôsobov, ako to dosiahnuť, je integrované trvalo udržateľné hospodárenie s pôdou, vodou a biologickými zdrojmi v poľnohospodárskej a lesnej pôde. Je potreba zdôrazniť aj podceňovaný potenciál výskumu a inovácií na znižovanie podnikateľského rizika v primárnej výrobe. Je tu výzva pre nové stimuly a inovácie.

## Podakovanie

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

*Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-14-0087.*

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

## LITERATÚRA

- ABRAHAMSEN P., HANSEN S. 2000. Daisy: An Open Soil – Plant – Atmosphere System Model. *Environmental Modelling & Software*, vol. 15, pp. 313 – 330.
- COLLEMAN K., JENKINSON D.S. 2005. RothC-26.3 A model for the turnover of carbon in soil. Model description and windows users guide. Available at [http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26\\_3\\_win.pdf](http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26_3_win.pdf)
- COM 2006. *Thematic Strategy for Soil Protection*. Communication from the Commission to the Council, the European parliament, the European economic and social committee and the committee of the regions. 2006. Available at the website: [SEC(2006)620] [SEC(2006)1165]/COM/2006/023.final.
- FAO. 2011. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. FAO, Rome and Earthscan, London. Available at the website: <http://www.fao.org/docrep/015/i1688e/i1688e00.pdf>.
- FAO. 2014. *Respecting free, prior and informed consent*. Practical guidance for governments, companies, NGOs, indigenous peoples and local communities in relation to land acquisition. Governance of Tenure Technical Guide No. 3. Rome. ISBN 978 – 92-5 – 108000-9 (print) E-ISBN 978-92-5-108001-6 (PDF)
- FAO. 2017a. *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. UN FAO, 2017, Rome. ISBN 978-92-5-109551-5.
- FAO. 2017b. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management. UN FAO, 2017, Rome, Italy. Available at <http://www.fao.org/3/a-bl813e.pdf>.
- FAO, ITPS. 2015. *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. UN FAO and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015, Rome, Italy.
- HANSEN S. 2000. *DAISY, a flexible soil – plant – atmosphere system model*. Equation section 1. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University. 47 p.
- HENRY B., MURPHY B., COWIE A. 2018. *Sustainable Land Management for Environmental Benefits and Food Security*. A synthesis report for the GEF. Available at website: <http://www.stapgef.org/sustainable-land-management-environmental-benefits-and-food-security-synthesis-report-gef>
- KOBZA J., BARANČÍKOVÁ G., HRIVŇÁKOVÁ K., MAKOVNÍKOVÁ J., PÁLKA B., STYK J., ŠIRÁŇ M. 2014. *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*. NPPC-VÚPOP Bratislava, 2014, 251s., ISBN 978-80-8163-004-0.
- McKEE T.B., DOESKEN N.J., KLEIST J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In: *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, January 17 – 22, 1993*, American Meteorological Society, Anaheim CA, USA, pp. 179 – 184.
- MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR. 2018. *Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy – aktualizácia*. MŽP SR, dostupné na webovej stránke: [www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/strategia-adaptacie-sr-nepriaznive-dosledky-zmeny-klimy-aktualizacia.pdf](http://www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/strategia-adaptacie-sr-nepriaznive-dosledky-zmeny-klimy-aktualizacia.pdf)
- SMITH P., HOUSE J.I., BUSTAMANTE M., SOBOCKÁ J., HARPER R., PA G., WEST P., CLARK J., ADHYA T., RUMPEL C., PAUSTIAN K., KUIKMAN P., COTRUFO F., ELLIOTT J.A., MCDOWELL R., GRIFFITHS, R., ASAKAWA S., BONDEAU A., JAIN A., K., MEERSMANS J., PUGH T.A.M. 2016. Global Change Pressures on Soils from Land Use and Management. *Global Change Biology* 2016 Mar; 22(3):1008 – 28. doi: 10.1111/gcb.13068
- SKALSKÝ R., BARANČÍKOVÁ G., KOCO Š., MAKOVNÍKOVÁ J., TARASOVIČOVÁ Z., HALAS J., KOLEDA P., GUTTEKOVÁ M., TAKÁČ J. 2017. Land cover and land use change driven change of regional soil organic carbon storage in cropland and grasslands of North-East Slovakia. *Proceedings of the Global Symposium on Soil Organic Carbon*, Rome, Italy, 21 – 23 March 2017, Roma FAO, ISBN 978-92-5-109838-7.
- SOBOCKÁ J., DODOK R., FULAJTÁR E., TAKÁČ J., TARASOVIČOVÁ Z. 2010. Návrh adaptačných opatrení na pôde pre zmiernenie účinkov klimatickej zmeny. VÚPOP Bratislava, 2010, ISBN 978-80-89128-64-8.
- ŠIŠKA B., TAKÁČ J. 2008. Klimatická zmena a poľnohospodárstvo Slovenskej republiky. Dôsledky, adaptačné opatrenia a možné riešenia. Štúdiá Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti SAV, Ročník XXI, XXIV.
- ŠTATISTICKÝ ÚRAD SR. 2018. *Štatistická ročenka o pôdnom fonde SR podľa údajov katastra nehnuteľností k 1.1.2018*. Úrad geodézie, kartografie a katastra SR, 2018 ISBN 978 – 80-89831 – 06-7, KO-2403/2018 – 378.
- TAKÁČ J., ŠIŠKA B., NOVÁKOVÁ M. 2011. Možné dôsledky zmeny klímy na potenciál úrod poľných plodín

- na južnom Slovensku. In: Salaš, P. (ed): „Rostliny v podmínkách menícího se klimatu“. Lednice 20. – 21. 10. 2011, Úroda, 2011, s. 612 – 622, ISSN 0139-6013
- TAKÁČ J., NOVÁKOVÁ M., ŠIŠKA B. 2011. Climate Change Impact on Irrigation Need of Field Crops on Danubian lowland. In: Šiška B., Hauptvogel M., Eliášová M. (eds). *Int. Sci. Conf. Bioclimate - Source and Limit of Social Development*. Topolčianky 6 – 9 Sept., SPU Nitra, ISBN 978-80-552-0640-0.
- TAKÁČ J. 2015. *Sucho v poľnohospodárskej krajine*. NPPC-VÚPOP, Bratislava. 69 s. ISBN 978-80-8163-012-5.
- TAKÁČ J., BEZÁK P., ILAVSKÁ B. 2017. Zhodnotenie zmien klimatických indikátorov v období 1961 – 1990 a 1991 – 2016 pre potreby aktualizácie agroklimatických regiónov. *Vedecké práce VÚPOP*, č. 39, Bratislava. 104 – 125. ISBN 978-80-8163-022-4.
- UN. 2015. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- VILČEK J. 2009. *Regionálne aspekty dopadu klimatických zmien na produkčný potenciál poľnohospodárskych pôd Slovenska*. VÚPOP Bratislava, ISBN 978-80-89128-57-0.
- WEBB J., BELLAMY P., LOVELAND P.J., GOODLASS G., 2003. Crop residue returns and equilibrium soil organic carbon in England and Wales. *Soil Science Society of America Journal*, 67, pp. 928-936
-

# VALIDÁCIA MODELU DAISY V PODMIENKACH VÝCHODOSLOVENSKEJ NÍŽINY

## VALIDATION OF DAISY MODEL IN THE CONDITIONS OF EAST SLOVAKIAN LOWLAND

Jozef TAKÁČ<sup>1</sup>, Dana KOTOROVÁ<sup>2</sup>, Jarmila MAKOVNÍKOVÁ<sup>3</sup>, Ladislav KOVÁČ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava, email: j.takac@vupop.sk

<sup>2</sup>Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav agroekológie Michalovce

<sup>3</sup>Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Regionálne pracovisko Banská Bystrica, Mládežnícka 36, 974 04 Banská Bystrica

### Abstrakt

Validácia agroekologického simulačného modelu DAISY bola založená na experimentálnych údajoch z poľných pokusov v Milhostove z obdobia rokov 2004–2011. Overované boli plodinové moduly jarnej jačmeňa, ozimnej pšenice a kukurice na zrno. Následne na základe experimentálnych údajov boli plodinové parametre modelu spresnené. Aj pôvodná, aj spresnená kalibrácia boli overené na údajoch z lokality Parchovany. Vyhodnotenie zhody medzi simulovanými a pozorovanými údajmi o úrode boli urobené pomocou štatistických nástrojov. Na základe porovnania pozorovanej a simulovanej úrody možno považovať celkové fungovanie modelu v podmienkach Východoslovenskej nížiny za uspokojivé. Vykonaná recalibrácia plodinových parametrov nepriniesla významnejšie zlepšenie odhadu úrod.

**Kľúčové slová:** model DAISY, plodinové parametre, validácia, úroda

### Abstract

Validation of the agroecological simulation model DAISY was based on experimental results from the field experiments in Milhostov carried out during the years 2004–2011. Crop modules of spring barley, winter wheat and maize were validated. Subsequently, on the basis of experimental data, the crop parameters were improved. Both original and updated calibration were verified on data from the Parchovany site. Evaluation of agreement between simulated and observed yield was done using statistical tools. Comparison of measured and simulated yields showed that the overall performance of the model under conditions of East Slovakian Lowland is satisfactory. The recalibration of the crop parameters did not lead to a significant improvement in the yield estimate.

**Keywords:** DAISY model, crop parameters, validation, crop yield

---

## ÚVOD

Rastové modely sa považujú za cenné nástroje na zlepšenie poľnohospodárskeho riadenia a rozhodovania. Simulačné modely umožňujú v ľubovoľných časových radoch získať kontinuálny rad kvantitatívnych údajov, dovoľujú vykonávať experimenty, ktoré sa v prírodných podmienkach nedajú uskutočniť a tak dávajú možnosť získať informácie o javoch a procesoch prebiehajúcich v prírodných systémoch. Agroekologické systémy sú komplexné dynamické systémy založené na interakcii počasia, pôdnych vlastností, genetických charakteristík plodín a spôsobu hospodárenia. Väčšina existujúcich modelov plodín je preto zložitá a vyžaduje veľký počet vstupných parametrov, ktoré nie sú ľahko dostupné.

Rast a výnosy plodín sú pri väčšine modelov založené na simulácii fyziologických procesov počas rastu plodín. Pokrok dosiahnutý vo vývoji rastových modelov v posledných desaťročiach umožňuje analytické riešenia problémov týkajúcich sa rastlinnej produkcie. Rastové simulačné modely umožňujú komplexne posúdiť vplyv klimatických, pôdnych a hydrologických faktorov a spôsobu hospodárenia na rast plodín a procesy tvorby výnosov. Preto sú široko používané v štúdiách o vplyve klímy a ďalších faktorov na rastlinnú produkciu.

Na Výskumnom ústave závlahového hospodárstva a jeho následníckych inštitúciách sa od roku 1992 využíva dánsky agroekologický simulačný model DAISY (HANSEN *et al.*, 1990). Model DAISY bol u nás úspešne využívaný vo viacerých domácich a medzinárodných projektoch ako nástroj na hodnotenie produkčného potenciálu regiónov, vodného režimu pôdy, závlahovej potreby, ako aj režimu dusíka v agroekosystéme či dopadov zmeny klímy na rastlinnú výrobu. Všeobecne možno povedať, že uplatnenie modelu je v hodnotení vplyvu rozličnej riadiacej praxe a stratégie hospodárenia na priebeh rozličných procesov a ich dôsledky na agroekosystém.

Dôležitou podmienkou pre využívanie rastových modelov je overenie ich spoľahlivosti pri reprodukovanií reálnych procesov (ADDISCOT *et al.* 1995). 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 – ŠIŠKA, 2011).

Základným predpokladom funkčnosti simulačného modelu je jeho opakovateľné použitie v zmenených podmienkach. Spoľahlivosť modelu DAISY bola preukázaná vo viacerých medzinárodných porovnávacích štúdiách (VEERECKEN *et al.*, 1991, DIEKKRÜGER *et al.*, 1995, SMITH *et al.*, 1997, PALUSAO *et al.*, 2011, RÖTTER *et al.*, 2012). Tieto štúdie ukázali dobrú zhodu medzi pozorovanými a simulovanými výsledkami modelom DAISY. Model DAISY teda možno považovať za dobre otestovaný model.

V tomto príspevku je prezentovaný postup overenia plodinových parametrov modelu DAISY v podmienkach ťažkých pôd Východoslovenskej nížiny s využitím dostupných experimentálnych údajov z tohto regiónu.

## MATERIÁL A METÓDY

### Polné pokusy

Overenie fungovania modelu DAISY v podmienkach Východoslovenskej nížiny (VSN) bolo vykonané na lokalitách, a to na Experimentálnom pracovisku NPPC – Výskumný ústav agroekológie Michalovce v Milhostove a na poľnohospodárskom podniku Primagro s.r.o. v Parchovanoch. Obe lokality sa nachádzajú v centrálnej časti VSN v klimatickej oblasti teplej, okrsku T3 charakterizovanom ako teplý, suchý, nížinný, kontinentálny.

Priemerné mesačné teploty vzduchu a mesačné úhrny atmosférických zrážok v hodnotenom období sú uvedené v Tab. 1 a 2. Priemerná ročná teplota, ako aj priemerná teplota za teplý polrok v každom roku obdobia, v ktorom sa vykonalo overovanie modelu, prevýšila dlhodobý priemer. Najteplejším rokom bol rok 2006, kedy priemerná ročná teplota bola o viac ako 2 °C vyššia ako dlhodobý priemer (Tab. 1). Z hľadiska zrážkových úhrnov bol najvýdatnejší rok 2010, kedy ročný zrážkový úhrn dosiahol 170% dlhodobého normálu. Výdatné zrážky sa v tomto roku vyskytli hlavne v mesiacoch máj, júl a august (Tab. 2).

Polné pokusy v Milhostove sa nachádzajú na fluvizemi glejovej ( $FM_G$ ), ktorá patrí medzi pôdy ťažké, ílovito-hlinité, s priemerným obsahom zŕn I. kategórie nad 53% (podľa Novákovej klasifikačnej stupnice). V hĺbke 0,7–0,8 m sa nachádza tmavosivý až žltosivý íl. Ich agronomické vlastnosti sú významne ovplyvňované vysokým obsahom ílovitých častíc. V Parchovanoch prevládajú fluvizeme modálne, fluvizeme glejové a luvizeme pseudoglejové až pseudogleje luvizemné (SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, 2014). Obsah ílovitých častíc v ornici v závislosti od pôdneho typu kolíše na tejto lokalite od 18 do 38%.

**Tab. 1** Priemerné mesačné teploty vzduchu [°C] v Milhostove v období rokov 2004 až 2012

Mesiac	DP	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
I.	-3,4	-3,7	-1,6	-4,7	2,4	-0,5	-2,6	-2,5	-1,2	-0,8
II.	-0,9	-0,8	-3,4	-2,6	2,8	2,0	0,5	-1,1	-2,6	-4,7
III.	3,9	5,0	2,3	2,3	8,2	5,1	4,3	1,6	4,4	5,9
IV.	10,0	10,7	11,0	11,3	11,2	10,7	13,3	10,7	11,9	11,1
V.	15,0	13,7	15,5	14,8	17,5	15,0	15,6	15,5	15,7	16,2
VI.	17,9	18,2	18,1	18,8	20,7	19,3	18,1	19,1	19,3	20,3
VII.	19,4	20,3	20,5	22,5	22,5	19,7	21,8	22,0	19,6	22,7
VIII.	18,7	19,6	19,2	18,8	21,7	20,1	20,5	20,9	21,0	21,3
IX.	14,8	14,0	15,8	16,3	13,6	14,0	16,9	13,7	17,9	16,9
X.	9,1	10,5	10,0	10,3	9,2	10,5	9,6	6,7	8,4	10,0
XI.	3,6	4,6	3,1	5,4	2,5	4,9	6,1	7,2	1,1	5,9
XII.	-1,1	0,2	-0,5	2,2	-0,8	2,0	0,2	-3,1	1,6	-1,8
$\bar{x}$ I.–XII.	<b>8,9</b>	<b>9,4</b>	<b>9,2</b>	<b>9,6</b>	<b>11,0</b>	<b>10,3</b>	<b>10,4</b>	<b>9,2</b>	<b>9,8</b>	<b>10,3</b>
$\bar{x}$ IV.–IX.	<b>16,0</b>	<b>16,1</b>	<b>16,7</b>	<b>17,1</b>	<b>17,9</b>	<b>16,5</b>	<b>17,7</b>	<b>17,0</b>	<b>17,6</b>	<b>18,1</b>

Kde: DP – dlhodobý normál 1961 – 1990

**Tab. 2** Mesačné úhrny atmosférických zrážok [mm] v Milhostove v období rokov 2004 až 2012

Mesiac	DN	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
I.	30	26	15	13	40	36	35	39	28	26
II.	26	50	42	41	40	11	28	27	4	6
III.	31	21	7	48	18	30	40	17	31	4
IV.	41	35	65	49	6	48	9	74	14	33
V.	57	84	105	83	38	40	47	219	46	32
VI.	70	73	61	96	72	61	82	92	112	60
VII.	74	148	52	18	36	140	34	140	166	119
VIII.	62	70	159	151	29	53	45	113	11	10
IX.	44	48	42	5	147	34	44	77	41	53
X.	38	41	17	23	62	32	80	10	14	65
XI.	41	35	13	16	26	22	80	61	0	35
XII.	36	15	57	13	29	47	60	66	58	47
<b>Σ I.–XII.</b>	<b>550</b>	<b>645</b>	<b>635</b>	<b>556</b>	<b>543</b>	<b>554</b>	<b>584</b>	<b>935</b>	<b>525</b>	<b>490</b>
<b>Σ IV.–IX.</b>	<b>348</b>	<b>458</b>	<b>484</b>	<b>402</b>	<b>328</b>	<b>376</b>	<b>261</b>	<b>715</b>	<b>390</b>	<b>307</b>

Kde: DN – dlhodobý normál 1961 – 1990

Pre overenie fungovania modelu boli vybrané poľné pokusy z rokov 2004 až 2011. V tabuľke 3 sú uvedené oševné postupy a v tabuľke 4 odrody plodín pestované na lokalitách Milhostov a Parchovany. Všetky plodiny boli pestované na štyroch honoch pri troch variantoch agrotechniky: klasická agrotechnika (KA), redukovaná agrotechnika (RA) a priama sejba bez orby (PS).

**Tab. 3** Simulované oševné postupy na lokalitách Milhostov a Parchovany

Rok	I.	II.	III.	IV.
<b>2004</b>	o. pšenica	j. jačmeň	sója	kukurica
<b>2005</b>	kukurica	sója	o. pšenica	j. jačmeň
<b>2006</b>	j. jačmeň	o. pšenica	kukurica	sója
<b>2007</b>	Sója	kukurica	j. jačmeň	o. pšenica
<b>2008</b>	o. pšenica	j. jačmeň	sója	kukurica
<b>2009</b>	kukurica	sója	o. pšenica	j. jačmeň
<b>2010</b>	j. jačmeň	o. pšenica	kukurica	sója
<b>2011</b>	Sója	kukurica	j. jačmeň	o. pšenica



**Tab. 4** Odrody jarňého jačmeňa a ozimnej pšenice a hybridy kukurice pestované na lokalitách Milhostov a Parchovany

Rok	Jarňý jačmeň		Ozimná pšenica		Kukurica na zrno	
	Milhostov	Parchovany	Milhostov	Parchovany	Milhostov	Parchovany
2004	Expres	Jubilant	Balada	Hana	DK 440	DK 440
2005	Expres	Malz	Balada	Petrana	DK 440	DK 440
2006	Ezer	Malz	Vanda	Petrana	DK 440	DK 440
2007	Ezer	Malz	Vanda	Vanda	DK 440	DK 440
2008	Ezer	Malz	Vanda	Veldana	DK 440	DK 440
2009	Prestige	Sebastian	Vanda	Ludwig	DK 440	DK 440
2010	Levan	Malz	Augustus	Josef	DKC 4490	DKC 4490
2011	Levan	Levan	Augustus	Alacris	DKC 4490	DKC 4490

### Model DAISY

Matematický model je vždy zjednodušenou reprezentáciou reálneho systému a ako taký je založený na zjednodušených predpokladoch. Základným predpokladom modelu DAISY je, že modelovaný agroekosystém môže byť reprezentovaný jednorozmerným modelom. Model DAISY simuluje tie časti vodného, uhlíkového a dusíkového cyklu, ktoré súvisia s poľnohospodárskymi pôdnymi systémami. Model DAISY 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 (HANSEN *et al.*, 1990).

Submodel vodnej bilancie sa skladá z bilancie vody na povrchu a z bilancie pôdnej vody. Atmosféra a hladina podzemnej vody vytvárajú okrajové podmienky uvažovaného systému. V rámci vody na povrchu sú modelované procesy akumulácia a topenie snehovej pokrývky, intercepcia, výpar z porastu, infiltrácia, výtopa a povrchový odtok. Vodný režim pôdy je zložený z prúdenia vody v pôdnej matici a v makropóroch. Simulácia pohybu vody v pôde je založená na numerickom riešení Richardsovej rovnice. Tiež zahrňuje odber vody koreňmi rastlín a trubkovú drenáž. Submodel tepelnej bilancie simuluje teplotu pôdy, zamrzanie a rozmrzanie pôdy. V rámci režimu roztokov model simuluje transportné, sorpčné a transformačné procesy (HANSEN, 2000).

Zvláštny dôraz je kladený na režim dusíka v agroekosystémoch. Simulované sú procesy mineralizácie, imobilizácie, nitrifikácie, denitrifikácie, sorpcie  $\text{NH}_4^+$ , odberu  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  a priesaku  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$ . Tiež sú modelované procesy degradácie, sorpcie, odberu a transportu agrochemikálií ako sú pesticídy (HANSEN *et al.*, 2012).

V rámci rastlinnej produkcie je simulovaný rast a vývoj rastliny vrátane akumulácie sušiny a dusíka v rôznych častiach 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 LAI (Index plochy listov), globálneho žiarenia, teploty vzduchu a vodného a dusíkového stresu. Rýchlosť vývoja plodiny je daná funk-

ciami teploty a dĺžky dňa (HANSEN, 2000). DAISY je považovaný za pomerne detailný rastový model, ktorý uplatňuje podrobný prístup využívania svetla pri výpočte fotosyntézy, respirácie a LAI (VAN ITTERSUM *et al.*, 2003).

Model umožňuje budovanie komplexných scenárov hospodárenia. Veľmi flexibilný software umožňuje implementáciu rôznych popisov toho istého procesu. Výber popisu je na základe dostupnosti údajov a tento popis je potom vybraný v rámci parametrizácie. Všeobecne možno povedať, že uplatnenie modelu je v hodnotení vplyvu rozličnej riadiacej praxe a stratégie hospodárenia na priebeh rozličných procesov a ich dôsledky na agroekosystém (HANSEN *et al.*, 1990, HANSEN, 2000, ABRAHAMSEN – HANSEN, 2000).

Minimálne požiadavky na meteorologické údaje sú priemerná denná teplota vzduchu a denné úhrny globálneho žiarenia a atmosférických zrážok. Ak má model k dispozícii údaje aj o rýchlosti vetra a tlaku pár alebo relatívnej vlhkosti vzduchu je výpočet potenciálnej evapotranspirácie  $ET_0$  založený na Penman-Montheithovom vzorci podľa odporúčania FAO (ALLEN *et al.*, 1998). Ak sú dostupné len základné požadované meteorologické údaje, je výpočet  $ET_0$  založený na jednoduchšej empirickej rovnici MAKINKA (1957). Z pôdnych údajov model vyžaduje zrnitostné zloženie, objemovú hmotnosť, obsah humusu, pomer C:N, parametre retenčnej čiary a hydraulickú vodivosť. Chýbajúce parametre retenčnej čiary a hydraulickej vodivosti je možné odhadnúť pomocou pedotransferovej funkcie HYPRES (WÖSTEN *et al.*, 1999), ktorá je v modeli zabudovaná.

### Kalibrácia a validácia modelu DAISY

Kalibrácia a validácia modelu DAISY bola uskutočnená na lokalitách Milhostov a Parcho-vany. V simuláciách boli pre obidve lokality využité klimatické údaje z meteorologickej stanice v Milhostove. Na lokalite Milhostov boli simulácie vykonané v oševných postupoch uvedených v tabuľke 1. Sója, parametrizácia ktorej v knižnici modelu nie je zahrnutá, bola v simuláciách nahradená hrachom. Na každom hone boli vykonané simulácie s klasickou agrotechnikou (KA), s redukovanou agrotechnikou (RA) a s priamou sejbou bez orby (PS).

Nakoľko neboli k dispozícii experimentálne stanovené charakteristiky retenčných kriviek a hydraulickej vodivosti jednotlivých pôdnych horizontov, tieto boli vypočítané modelom DAISY z údajov o zrnitosti, objemovej hmotnosti a obsahu humusu zabudovanou pedotransferovou funkciou HYPRES (WÖSTEN *et al.*, 1999).

V rámci validácie modelu DAISY na VSN boli pre lokalitu Milhostov vykonané:

- simulácie s kódovým označením DK s originálnou parametrizáciou plodín z knižnice modelu DAISY,
- a simulácie s kódovým označením SK s plodinovými parametrami kalibrovanými pre slovenské podmienky (TAKÁČ – ŠIŠKA, 2011).

V ďalšej etape boli plodinové parametre plodín prekalibrované na základe údajov z poľných pokusov v Milhostove. Vzhľadom na to, že neboli k dispozícii údaje o vývoji sušiny a obsahu dusíka v jednotlivých častiach plodín (listy, steblo, zrna), ani potrebné fenologické údaje, kalibrácia pre VSN (simulácie s kódovým označením VSN) sa vykonala len

pre dĺžku vegetačného obdobia daného termínmi sejby a zberu, pričom jednotlivé vývojové fázy plodín sa skrátili alebo predĺžili v rovnakom pomere ku skráteniu alebo predĺženiu celého vegetačného obdobia plodiny. V simuláciách bol termín zberu považovaný za dátum zrelosti. Údaje o zásobe vody v pôde, termíne zberu a úrodách získané z výstupov modelu boli porovnané s údajmi z poľných pokusov. Dobrá zhoda medzi meranými a simulovanými údajmi v procese kalibrácie nemusí vždy znamenať správnosť kalibrácie a jej platnosť pre iné súbory údajov. Tiež treba mať na zreteli, že parametrizácia pre určitú odrodu môže byť špecifická vzhľadom na klimatické a pôdne podmienky a nemusí vystihovať iné odrody danej plodiny vo všetkých parametroch. Za účelom overenia kalibrácií boli preto následne vykonané simulácie s parametrizáciami SK a VSN na lokalite Parchovany s rovnakými oševnými postupmi ako na lokalite Milhostov. Parametrizácia DK na lokalite Parchovany už nebola overovaná. Výsledky simulácií boli porovnané s pozorovanými údajmi a štatisticky vyhodnotené. Hodnotenými plodinami boli jarný jačmeň, ozimná pšenica a kukurica na zrno.

Získané výsledky boli vyhodnotené štatisticky korelačnou analýzou s použitím softwaru Statgraphic Centurion IV. Štatisticky preukazný korelačný koeficient bol určený na hladine významnosti  $P < 0,05$  a  $P < 0,01$ . Dopočítaný bol Index zhody IA (Index of Agreement) (WILMOTT, 1981), ktorý vyjadruje, nakoľko sa simulované údaje zhodujú s reálnymi údajmi:

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\dot{S}| + |\dot{O}|)^2}$$

kde

$$\dot{S} = |S_i - (S_i - \bar{S})|; \quad \dot{O} = |O_i - (O_i - \bar{O})|$$

$S_i$  – simulované hodnoty danej veličiny

$O_i$  – pozorované hodnoty danej veličiny

$n$  – počet dvojíc pozorovaných a odhadovaných veličín

$\bar{S}$  – priemerná simulovaná hodnota danej veličiny

$\bar{O}$  – priemerná pozorovaná hodnota danej veličiny

Hodnoty Indexu zhody sa pohybujú v intervale  $<0,1>$ . Čím je hodnota IA väčšia, tým je bližšia zhoda modelových výstupov s reálnymi údajmi.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

### Zásoba vody v pôde

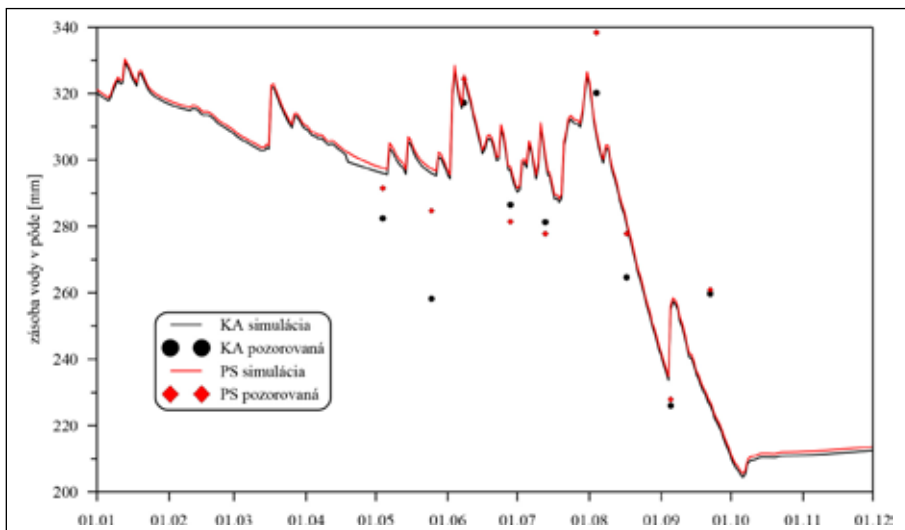
Vlahová bilancia je kľúčovým parametrom fyzikálnych a fyziologických procesov prebiehajúcich v agroekologických systémoch. Spoľahlivá simulácia vlahovej bilancie a vodného režimu je základným predpokladom pre spoľahlivú simuláciu rastových procesov. Simulovaný

priebeh a merané zásoby vody v pôde pod porastom kukurice na lokalite Milhostov sú znázornené na obrázku 1. Štatistické charakteristiky z týchto simulácií sú uvedené v tabuľke 5.

Ako vidieť z obrázku 1, rozdiely v simulovaných zásobách vody v pôde medzi KA a PS sú zanedbateľné, kým medzi pozorovanými zásobami sú v niektorých termínoch rozdiely významné. Pozorovaná zásoba vody pod porastom pestovaným priamou sejbou je v priemere o 10 mm vyššia ako pod porastom pestovaným klasickou agrotechnikou, pričom v jednotlivých termínoch sa rozdiely pohybujú od 1 do 26 mm, kým pri simuláciách sa pohybujú len do 3 mm.

Súdiac podľa koeficientu determinácie (Tab. 5) je miera tesnosti štatistickej závislosti výrazná v horizonte 0–30 cm a vysoká v horizontoch 30–80 cm a 0–80 cm. Stredná absolútna chyba je v horizonte 0–30 cm záporná, čiže simulovaná vlhkosť pôdy je nižšia ako meraná. Naopak, v horizonte 30–80 cm je simulovaná zásoba vody v pôde vyššia ako pozorovaná. Za celý pôdny profil je stredná absolútna chyba menšia ako 10 mm. Podobne ako koeficient determinácie, aj index zhody poukazuje na vysokú mieru zhody medzi simulovanými a meranými hodnotami.

**Obr. 1** Pozorovaná a simulovaná zásoba vody v pôde [mm] v profile 0–80 cm v roku 2011 na lokalite Milhostov pod porastom kukurice pestovanej klasickou agrotechnikou (KA) a priamou sejbou bez orby (PS)



**Tab. 5** Vybrané štatistické charakteristiky zásoby vody v pôde na lokalite Milhostov v roku 2011 pod porastom kukurice pestovanej klasickou agrotechnikou (KA) a priamou sejbou bez orby (PS)

Štatistická charakteristika	KA			PS		
	0–30 cm	30–80 cm	0–80 cm	0–30 cm	30–80 cm	0–80 cm
R	0,38	0,74	0,71	0,48	0,78	0,73
r <sup>2</sup>	14,6	54,8	50,3	22,7	60,7	53,1
S	-12,1	23,1	9,9	-9,7	13,4	3,5
δ	16,8	27,2	24,1	14,4	19,4	22,5
δ <sub>N</sub>	0,156	0,160	0,087	0,137	0,108	0,079
IA	0,51	0,67	0,81	0,59	0,81	0,84

Symboly: r – korelačný koeficient, r<sup>2</sup> – koeficient determinácie [%], s – stredná absolútna chyba, δ – stredná kvadratická chyba, δ<sub>N</sub> – normovaná stredná kvadratická chyba, IA – index zhody

### Termín zberu

Vzhľadom na skutočnosť, že dátum zrelosti bol v simuláciách považovaný za termín zberu, možno považovať všetky priemerné odchýlky simulovaného termínu zberu, s výnimkou pšenice ozimnej podľa pôvodnej kalibrácie DK a jačmeňa jarného podľa kalibrácie SK, za vyhovujúce (Tab. 6). Na druhej strane, možno v odchýlkach simulovaných termínov zberu od pozorovaných termínov vidieť značnú variabilitu. Treba poznamenať, že príslušné parametre plodín v kalibráciách DK a SK boli odvodené z odrôd plodín pestovaných v 80. a 90. rokoch. Porovnanie termínov zberu vykazuje vysokú mieru neurčitosti, nakoľko termín zrelosti z poľných pokusov nebol známy, a tak v simuláciách bol dátum zrelosti považovaný za dátum zberu a pozorovaný termín zberu bol považovaný za dátum zrelosti.

**Tab. 6** Priemerné, minimálne a maximálne odchýlky simulovaného termínu zberu od pozorovaných termínov v simulácii s originálnou parametrizáciou plodín z knižnice modelu (DK), s plodinovými parametrami kalibrovanými pre slovenské podmienky (SK) a kalibráciou pre VSN (VSN)

Plodina	Simulácie DK			Simulácie SK			Simulácie VSN		
	min	priemer	max	min	priemer	max	min	priemer	max
Kukurica	-27	-3	18	-29	-4	18	-13	-2	3
Jačmeň jarný	-11	-1	3	-22	-12	-7	-13	-2	1
Pšenica ozimná	-31	-19	-12	-13	0	6	-9	1	7

### Hospodárske úrody

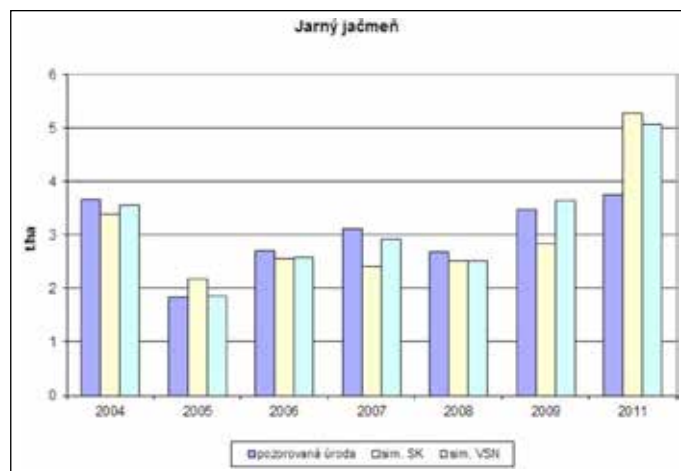
Výsledky pozorovaných a simulovaných hospodárskych úrod vybraných plodín sú zhrnuté v tabuľke 7. Ako vidieť, najväčšie odchýlky medzi pozorovanými a simulovanými úrodami sú podľa kalibrácie DK s pôvodnými parametrizáciami plodín. Zaujímavým zistením je, že výsledné simulované úrody hustosiatych obilnín podľa kalibrácií SK a VSN sú bližšie pozorovaným úrodám na lokalite Parchovany ako na lokalite Milhostov. Paradoxne, na lokalite Parchovany

simulované úrody jarného jačmeňa a kukurice podľa kalibrácie SK sú bližšie experimentálnym úrodám ako podľa kalibrácie VSN, i keď nie významne.

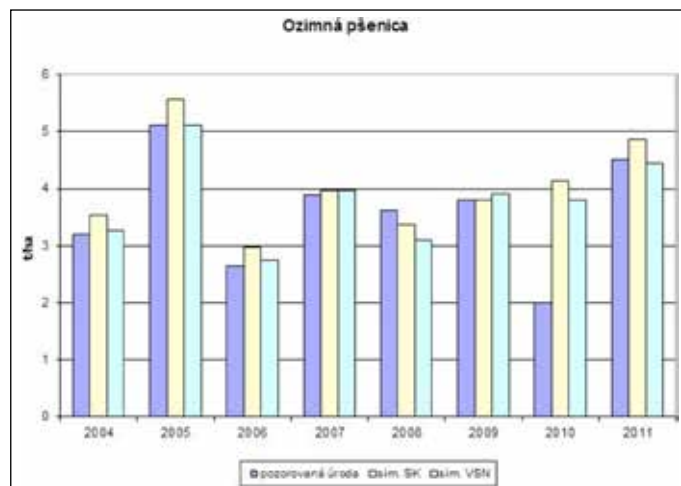
**Tab. 7** Priemerné pozorované a simulované hospodárske úrody [ $t \cdot ha^{-1}$ ] na lokalitách Milhostov a Parchovany

Plodina	Milhostov				Parchovany		
	pozorovaná	Sim. DK	Sim. SK	Sim. VSN	pozorovaná	Sim. SK	Sim. VSN
Jačmeň jarný	3,70	3,02	4,07	4,02	3,03	3,03	3,16
Ozimná pšenica	5,52	6,61	6,40	6,00	3,60	4,03	3,79
Kukurica	10,55	6,17	9,22	10,20	4,17	5,23	5,36

**Obr. 2** Pozorované a simulované úrody jarného jačmeňa Parchovany v rokoch 2004 – 2011



**Obr. 3** Pozorované a simulované úrody ozimnej pšenice Parchovany v rokoch 2004 – 2011



V jednotlivých simuláciách sa pohybovali rozdiely medzi pozorovanými a simulovanými úrodami jačmeňa jarného na lokalite Milhostov od  $-0,7$  do  $1,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  a od  $-0,7$  do  $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Parchovany podľa kalibrácie SK a od  $-0,3$  do  $1,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Milhostov a od  $-0,2$  do  $1,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Parchovany podľa kalibrácie VSN. Pri ozimnej pšenici sa tieto rozdiely pohybovali od  $-1,1$  do do  $2,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Milhostov a  $-0,2$  do  $2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Parchovany podľa kalibrácie SK a od  $-1,2$  do do  $1,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Milhostov a od  $-0,5$  do  $1,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Parchovany podľa kalibrácie VSN. Pri kukurici boli odchýlky simulovaných úrod od pozorovaných väčšie. Pohybovali sa v intervale od  $-4,7$  do do  $1,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Milhostov a  $0,3$  do  $2,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Parchovany podľa kalibrácie SK a od  $-2,7$  do do  $2,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Milhostov a od  $-0,1$  do  $2,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  na lokalite Parchovany podľa kalibrácie VSN. Pozorované a simulované úrody plodín v jednotlivých rokoch na lokalite Parchovany sú znázornené na obrázkoch 2 až 4.

**Obr. 4** Pozorované a simulované úrody kukurice na zrno Parchovany v rokoch 2004 – 2011



Štatistické porovnanie simulovaných a pozorovaných úrod je zhrnuté v tabuľkách 8 a 9. Podľa hodnôt korelačného koeficientu je stupeň lineárnej závislosti veľmi tesný v prípade simulácií úrod jarného jačmeňa podľa kalibrácie VSN na lokalite Parchovany a vysoký u ostatných simulácií jarného jačmeňa s výnimkou simulácie podľa kalibrácie SK na lokalite Parchovany, kde je hodnota korelačného koeficientu tesne pod hranicou oddeľujúcou stupne závislosti významný a vysoký. Stupeň závislosti medzi simulovanými a pozorovanými úrodami jarného jačmeňa podľa kalibrácie SK bol v Parchovanoch nižší ako v Milhostove, kým podľa kalibrácie VSN bol v Parchovanoch veľmi tesný. Štatistická preukaznosť výsledkov simulácií jarného jačmeňa v Milhostove je preukazná pri hladine významnosti  $p < 0,001$ , v Parchovanoch len podľa kalibrácie VSN pri hladine významnosti  $p < 0,05$ .

Jarný jačmeň bol jedinou plodinou, pri ktorej podľa pôvodnej parametrizácie DK bol zistený vysoký stupeň závislosti medzi meranými a simulovanými úrodami. Pri ozimnej pšenici a kukurici bol vypočítaný podľa tejto parametrizácie len mierny stupeň lineárnej závislosti. Podobné závery pre túto parametrizáciu môžeme prijať aj podľa ostatných štatistických charakteristík. To, že dánska parametrizácia jarného jačmeňa vyhovovala aj v slovenských podmienkach naznačuje, že medzi odrodami jarného jačmeňa v Európe neexistujú významnejšie rozdiely ovplyvňujúce výšku hospodárskych úrod.

Pre simulácie vykonané podľa parametrizácií ozimnej pšenice SK a VSN boli vypočítané na lokalite Parchovany vyššie hodnoty korelačného koeficientu ako na lokalite Milhostov. Jedným z vysvetlení môže byť skutočnosť, že na týchto lokalitách boli pestované rozdielne odrody ozimnej pšenice. Naopak, pri kukurici hodnoty korelačného koeficientu pre simulácie na lokalite Parchovany naznačujú len miernu mieru tesnosti. Kukurica je pritom jedinou plodinou s rovnakými odrodami na oboch lokalitách.

Podobné výsledky dávajú aj ďalšie štatistické charakteristiky – koeficient determinácie, stredná absolútna chyba, stredná kvadratická chyba a index zhody. Veľmi vysoká tesnosť podľa koeficientu determinácie bola vypočítaná len pre simulácie úrod jačmeňa jarného podľa parametrizácie VSN na lokalite Parchovany. Nízka tesnosť bola zaznamenaná pre simulácie úrod kukurice podľa parametrizácie SK na lokalite Parchovany a mierna tesnosť v tretine hodnotených výsledkov. Najvyššie hodnoty indexu zhody boli na oboch lokalitách zaznamenané pre simulácie úrod jarného jačmeňa podľa kalibrácie VSN a najmenšia pre simulácie úrod kukurice v Parchovanoch podľa kalibrácie VSN. Najmenšia stredná absolútna chyba a stredná kvadratická chyba boli najmenšie pre simulácie úrod jačmeňa jarného podľa parametrizácie VSN na lokalite Parchovany.

**Tab. 8** Vybrané štatistické charakteristiky simulovaných hospodárskych úrod plodín podľa jednotlivých parametrizácií na lokalite Milhostov

	Jačmeň jarný			Ozimná pšenica			Kukurica na zrno		
	DK	SK	VSN	DK	SK	VSN	DK	SK	VSN
<b>r</b>	0,7718***	0,8216***	0,8973***	0,4075*	0,4278*	0,5540**	0,4025*	0,7997***	0,4278***
<b>r<sup>2</sup></b>	59,5689	67,5076	80,5141	16,6042	18,2987	30,6961	16,1646	63,9677	18,2987
<b>s</b>	0,6485	0,5813	0,4466	0,7435	0,7359	0,6778	1,3855	1,5332	0,7359
<b>δ</b>	0,5057	0,4945	0,3832	0,5577	0,5486	0,4987	1,1905	1,2373	0,5483
<b>δ<sub>N</sub></b>	0,2483	0,2040	0,1452	0,3174	0,2347	0,1636	0,4362	0,1905	0,1287
<b>IA</b>	0,7422	0,8698	0,9208	0,5323	0,5608	0,6787	0,3008	0,6179	0,7069

Symbols: r – korelačný koeficient, r<sup>2</sup> – koeficient determinácie [%], s – stredná absolútna chyba, δ – stredná kvadratická chyba, δ<sub>N</sub> – normovaná stredná kvadratická chyba, IA – Index zhody  
Hladina významnosti korelačného koeficientu: \*\*\* p<0,001, \*\* p<0,01, \* p<0,05

**Tab. 9** Vybrané štatistické charakteristiky simulovaných hospodárskych úrod plodín podľa jednotlivých parametrizácií na lokalite Parchovany

	Jačmeň jarný		Ozimná pšenica		Kukurica na zrno	
	SK	VSN	SK	VSN	SK	VSN
<b>r</b>	0,7012	0,9143*	0,6967	0,6966	0,3009	0,3729
<b>r<sup>2</sup></b>	49,2415	83,6095	48,5357	48,5357	9,0579	13,9078
<b>S</b>	053015	0,3066	0,7676	0,7676	0,6931	0,6744
<b>δ</b>	0,3859	0,2207	0,4430	0,4429	0,4279	0,4513
<b>δ<sub>N</sub></b>	0,2314	0,1692	0,2225	0,1861	0,3271	0,3443
<b>IA</b>	0,7862	0,8914	0,7680	0,8102	0,4566	0,3648

Symbols: r – korelačný koeficient, r<sup>2</sup> – koeficient determinácie [%], s – stredná absolútna chyba, δ – stredná kvadratická chyba, δ<sub>N</sub> – normovaná stredná kvadratická chyba, IA – Index zhody  
Hladina významnosti korelačného koeficientu: \*\*\* p<0,001, \*\* p<0,01, \* p<0,05



## ZÁVER

Na základe porovnaní pozorovaných a simulovaných zásob vody v pôde a hospodárskych úrod možno považovať celkové fungovanie modelu DAISY za uspokojujúce. Kalibrácia SK s plodinovými parametrami kalibrovanými podľa experimentálnych údajov z Mostu pri Bratislave sa ukázala ako vyhovujúca aj v podmienkach Východoslovenskej nížiny. Možno konštatovať, že vykonaná rekalibrácia plodinových parametrov na základe údajov z poľných pokusov v Milhostove neprinesla významnejšie zlepšenie odhadu úrod, nakoľko neboli k dispozícii všetky potrebné údaje pre kalibráciu. Z toho vyplýva, že rekalibrácia modelu pre inú lokalitu by mala význam len v prípade, ak by boli dostupné experimentálne údaje tvorby sušiny, príjmu dusíka a obsahu dusíka v pôde ako to bolo pri kalibrácii modelu DAISY na Podunajskej nížine.

## Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou pre vedu a výskum na základe zmluvy č. APVV-15-0489 a č. APVV-15-0406.

## LITERATÚRA

- ABRAHAMSEN, P. – HANSEN, S. 2000. DAISY: An Open Soil – Plant – Atmosphere System Model. In *Environmental Modelling & Software*, 15. 313–330.
- ADDISCOT, T. – SMITH, J. – BRADBURY, N. 1995. Critical Evaluation of Models and Their Parameters. *Journal Environmental Quality*, 34: 803–807.
- ALLEN, R.G. – PEREIRA, L.S. – RAES, D. – SMITH, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998. 326 p. ISBN 92-5-104219-5.
- 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.*, vol. 81, 1995, no. 1–3, p. 3–29. ISSN 0304–3800.
- HANSEN, S. 2000. DAISY, *a Flexible Soil – Plant – Atmosphere System Model. Equation Section 1*. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University. 47 p.
- 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*. National Agency for Environmental Protection, Copenhagen, 272 p. ISBN 87-503-8790-1.
- HANSEN, S. – ABRAHAMSEN, P. – PETERSEN, C.T. – STYCZEN, M. 2012. *Daisy: Model use, calibration, and validation*. Trans. ASABE 55(4): 1315–1333.
- MAKKINK, G.F. 1957. Testing the Penman Formula by Means of Lysimeters. In: *Journal Institution of Water Engineers*, 1957, vol. 11, p. 277–288.
- PALOSUO, T. – KERSEBAUM, K.C. – ANGULO, C. – HLAVINKA, 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. – ŠÍŠKA, 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. – HLAVINKA, 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.
- SMITH, P. – SMITH, J.U. – POWLSON, D.S. – MCGILL, W.B. – ARAH, J.R.M. – CHERTOV, O.G. – COLEMAN, K. – FRANKO, U. – FROLKING, S. – JENKINSON, D.S. – JENSEN, L.S. – KELLY, R.H. – KLEIN-GUNNEWIEK, H. –

- KOMAROV, A.S. – LI, C. – MOLINA, J.A.E. – MUELLER, T. – PARTON, W.J. – THORNLEY, J.H.M. – WHITMORE, A.P. 1997. A Comparison of the Performance of Nine Soil Organic Matter Models Using Datasets from Seven Long-Term Experiments. *Geoderma*, vol. 81, 1997, no. 1–2, p. 153–225. ISSN 0016–7061.
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia*. Druhé upravené vydanie. Bratislava: NPPC-VÚPOP Bratislava 2014, 96 p. ISBN 978-80-8163-005-7
- TAKÁČ, J. 1994. Verifikácia modelu DAISY – Simulovanie úrod obilnín. *Vedecké práce VÚZH* č. 21, VÚZH Bratislava, s. 95–104.
- TAKÁČ, J. – ŠIŠKA, B. 2011. Kalibrácia a validácia modelu DAISY pre podmienky Slovenska. *Vedecké práce VÚPOP*, č. 33, Bratislava. 161–172. ISBN 978-80-89128-91-4.
- VAN ITTERSUM, M.K. – HOWDEN, S.M. – ASSENG, S. 2003. Sensitivity of productivity and deep drainage of wheat cropping systems in a Mediterranean environment to changes in CO<sub>2</sub>, temperature and precipitation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 97 (1–3), 255–273.
- VEERECKEN, H. – JANSEN, E.J. – HACK–TEN BROEKE, M.J.D. – SCHERTS, M. – ENGELKE, R. – FABREWICH, F. – HANSEN, S. 1991. *Comparison of simulation results of five nitrogen models using different data sets*. In: Soil and Groundwater Research Report II: Nitrate in soils. Brussels: Commission of the European Communities, 1991, p. 321–338.
- WILMOTT, C.J. 1981. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 64, 1309–1313.
- 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.
-

# **Vedecké práce**

## **Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy č. 40**

© Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy Bratislava

Zodpovedný redaktor: doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc

Recenzenti: prof. Ing. Jozef Vilček, PhD.

RNDr. Beata Houšková, CSc.

Grafická úprava: Ing. Karol Végh

Vydal: NPPC – VÚPOP

Tlač: Edičné stredisko NPPC – VÚPOP  
Trenčianska 55, 821 09 Bratislava

Počet strán:

Náklad: 100 ks

**ISBN 978-80-8163-030-9 (tlačená verzia)**

**ISBN 978-80-8163-031-6 (online verzia vo formáte PDF)**

Texty neprešli jazykovou úpravou.

**ISBN 978-80-8163-030-9**

(tlačená verzia)



9 788081 630309 >

**ISBN 978-80-8163-031-6**

(online verzia PDF)



9 788081 630316 >