

Kam smeruješ pedológia v 21. storočí?

**Zborník referátov
z vedeckého
seminára
konaného
dňa 28. 10. 2024
v Bratislave
pri príležitosti
životného jubilea
doc. RNDr. Jaroslavy
Sobockej, CSc.**

Bratislava 2025



Kam smeruješ pedológia v 21. storočí?

**Zborník referátov z vedeckého seminára
konaného dňa 28. 10. 2024 v Bratislave
pri príležitosti životného jubilea
doc. RNDr. Jaroslavy Sobockej, CSc.**

Bratislava 2025

Cieľ vedeckého seminára:

je súčasťou aktivít projektu EJP SOIL a Misijnej Rady EK PÔDA, ktorých zameraním je poskytovať podmienky pre rozvoj vedeckej disciplíny pedológia, ktorý bol v minulých desaťročiach dosť dlho zanedbávaný. Až v súčasnosti sa dostáva do popredia opodstatnenie jeho výskumu aj preto, že Európska komisia podporuje pôdu ako jeden z piatich výskumných aktivít pre HORIZON 2030 ako aj publikovaných dokumentov Stratégia pre pôdu 2030, Smernica o monitoringu a odolnosti pôdy a iné.

Kam smeruješ pedológia v 21. storočí?

Zborník referátov z vedeckého seminára konaného dňa 28. 10. 2024 v Bratislave pri príležitosti životného jubilea doc. RNDr. Jaroslavy Sobockej, CSc.

Zostavila: doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.

Recenzentka: RNDr. Beata Houšková, CSc.

© Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, 2025

ISBN 978-80-8163-057-6

Obsah

Životné jubileum doc. RNDr. Jaroslavy Sobockej, CSc.	4
<i>Jozef Kobza, Gabriela Barančíková, Rastislav Dodok, Jarmila Makovníková, Boris Pálka, Ján Styk (†), Miloš Širáň</i>	
Monitoring pôd ako základný atribút pôdnej politiky a jeho dopad na ďalší rozvoj pedológie.....	8
<i>Pavel Pavlenda</i>	
Človek a pôda v antropocéne: čo vyžadovať od pedológie v najbližšej budúcnosti?	27
<i>Bořivoj Šarapatka, Marek Bednář</i>	
Vliv erozních procesů na půdní vlastnosti černozemí a kambizemí v závislosti na typu svahu	37
<i>Rastislav Skalský, Mikuláš Madaras, Juraj Balkovič, Thomas Oberleitner, Wiktor Żelazny</i>	
Regionálne plodinové modely pre podporu udržateľného využívania poľnohospodárskej pôdy	49
<i>Erika Gömöryová</i>	
Výskum pôd na Lesníckej fakulte Technickej univerzity vo Zvolene	62
<i>Gabriela Barančíková, Jarmila Makovníková</i>	
Porovnanie monitoringu pôdneho organického uhlíka (POC) v krajinách Európy a využitie výsledkov monitoringu POC na Slovensku	75
<i>Michal Sviček, Adriana Zverková, Kristína Buchová</i>	
Výsledky dvojfázového prieskumu WP 2 programu EJP SOIL v rokoch 2023/2024 a budúce pôdne aspiračné ciele na Slovensku.....	95



ŽIVOTNÉ JUBILEUM

doc. RNDr. JAROSLAVY SOBOCKEJ, CSc.

Deň za dňom sa mína a pondelok je tu znova, nuž dá sa riecť vzácna chvíľa – tá, ktorých v živote nebýva tak veľa. Keď človek zastaví sa na chvíľu a v hlave má nie jednu myšlienku. Keď k spomienkam sa navráti a svoje kroky zhodnotí. Máme tu teraz vzácnu chvíľu, keď zastaví sa práce tok, aj náš ponáhľajúci sa krok a chceme vyriešiť poďakovanie, ktoré patrí Jarke Sobočkej.

Doc. RNDr. Jaroslava Sobočká, CSc. sa narodila 20. 9. 1954 v Krupine, základnú deväťročnú školu a gymnázium absolvovala v Brezne. V rokoch 1975 – 1980 študovala na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského, Katedre fyzikálnej geografie a kartografie v Bratislave, kde získala titul „doktor prírodných vied (RNDr.)“. Na Geografickom ústave SAV získala v roku 1980 titul „kandidát geografických vied (CSc.)“ a v roku 2008 získala na Fakulte záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre titul „docent (doc.)“.

Ako študentka Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského sa venovala fyzickej geografii a geoekológii, metódam výskumu fyzicko-geografického komplexu a aplikácii týchto metód pre rekreačné účely a cestovný ruch. Ako ašpirantka si rozšírila profesijné vedomosti v genéze a klasifikácii pôd, numerických metódach spracovania pôdných databáz. Prvý krát na Slovensku aplikovala výsledky Komplexného prieskumu poľnohospodárskych pôd (KPP) pre strojové spracovanie dát pomocou mnohorozmernej analýzy. Po roku 2008 (doc.) sa venuje krajinárstvu, tvorbe životného prostredia, vytvoreniu základov výskumu urbánnych a antropogénnych pôd, ich funkcií, klasifikácie a mapovania.

Stručná charakteristika doterajšieho pracovného pôsobenia

V rokoch 1981 – 1985 pôsobila na Výskumnom ústave pôdoznalectva a výživy rastlín ako interný vedecký ašpirant. Od roku 1985 pracovala na pozícii sa-

mostatného vedeckého pracovníka na oddelení regionálnej pedológie a od roku 2002 už na pozícii vedúcej oddelenia pôdoznanectva a mapovania pôd. V rokoch 2012 – 2018 pôsobila na pozícii riaditeľky VÚPOP, v súčasnosti je na pozícii vedúcej Odboru všeobecnej pedológie a pedogeografie.

Doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc. je v Slovenskej republike a v zahraničí uznávaným vedeckým pracovníkom v oblasti výskumu pôd, ich klasifikácie, hodnotenia a mapovania. Významné je jej uplatnenie v zahraničí ako špecialista pre výskum antropogénnych a urbánnych pôd (zakladateľ tohto výskumu na Slovensku) a ako aktívny riešiteľ globálnych problémov vo väzbe na pôdne zdroje sveta.

V praxi sa uplatnili nielen jej návrhy a vymedzenia území s prírodným znevýhodnením pre farmárov, ale významným prínosom pre poľnohospodársku prax sú publikácie ako Príručka pre používanie máp pôdnoekologických jednotiek v roku 2009 a niekoľko verzií Morfogenetického klasifikačného systému pôd SR. Má viac ako 40 ročné odborné skúsenosti s realizáciou národných i zahraničných projektov.

Doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc. pôsobila ako prednášajúca lektorka na Univerzite Jána Evangelistu Purkyně, Fakulte životného prostredia v Ústí nad Labem (ČR), na Českej poľnohospodárskej univerzite v Prahe a na Slovenskej poľnohospodárskej univerzite v Nitre, Katedre pedológie a geológie. Počas svojej praxe bola vedúcou niekoľkých diplomových prác, školiteľkou 4 doktorandov, ktorí úspešne získali hodnosť PhD. na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského a na Prešovskej univerzite.

Dlhoročne sa podieľa na príprave a implementácii nových politík EÚ (Stratégia pre pôdu do roku 2030, Direktíva o monitoringu a odolnosti pôdy, Misia pre pôdu HORIZON 2EUROPE) na národnej úrovni a na rozvoji poznatkovej bázy pre udržateľný manažment pôdy vo väzbe na globálne výzvy a spoločenské potreby. V súčasnosti koordinuje medzinárodný projekt HORIZONT 2020 EJP SOIL (K udržateľnému a klimaticky inteligentnému manažmentu poľnohospodárskych pôd).

Bola a je členkou viacerých vedeckých a odborných komisií:

- Expert pre Direktívu o pôde v zmysle Tematickej stratégie a súčasnej Stratégie pre pôdu do roku 2030 (EK Brusel)
- Expert pre ANC (znevýhodnené oblasti) pre jednanie s EK (DG AGRI)
- Expert pre zábery pôd („soil sealing“ EK DG ENV)
- Národný kontaktný bod Slovenskej republiky pre UNCCD
- Člen (expert) Medzivládneho technického panelu Globálneho partnerstva o pôde (GSP-FAO Rím)
- Člen Misijnej rady PŮDA ako expert pre pôdu Európskej komisie
- Člen medzinárodnej pracovnej skupiny SUITMA

- Člen Predsedníctva Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied
- Člen redakčnej rady vedeckého časopisu „Agriculture“
- Zakladateľka vedeckého časopisu Pedosphere Research (VÚPOP NPPC)
- Prezident Slovenskej pôdoznaleckej spoločnosti (*Societas pedologica slovacae*, o.z.)

Koordinovala mnohé projekty, z ktorých najvýznamnejšie sú:

- SOVEUR projekt – mapovanie pôd Slovenska v M 1:1 mil. (ISRI Wageningen, NL), národný koordinátor
- Urbánne pôdy ako environmentálny faktor kvality života v mestách, príklad mesta Bratislavy (projekt APVT-27-022602), hlavný koordinátor.
- Urban SMS Stratégia manažmentu urbánnych pôd – INTEREG IVB, zahraničný vedecký projekt CENTRAL EUROPE), národný koordinátor.
- Geologické faktory životného prostredia – projekt GÚDŠ, prieskum, mapovanie a hodnotenie regiónov Stredné Považie, Chvojnická pahorkatina, Rimavsko-Lučenská kotlina a Záhorská nížina, hlavný koordinátor
- SONDAR SK-AT spolupráca na ochrane pôdy v regióne Podunajsko, Dolné Rakúsko a západné Slovensko ako príklad dobrej praxe, národný koordinátor.
- Dopracovanie vymedzenia znevýhodnených oblasti (špecifické a ostatné) v SR v kontexte zmeny podmienok navrhnutých kritérií Európskou komisiou (2011 – 2015), hlavný koordinátor
- PEDO-CITY-KLIMA Vplyv nepriepustného pokrytia pôdy na klímu miest v kontexte klimatickej zmeny (APVV-15 – 0136), hlavný koordinátor.
- Zabezpečenie úloh vyplývajúcich z medzinárodných záväzkov a dohôd SR (roky 2012 – doteraz), národný kontaktný bod Dohovoru OSN o boji proti dezertifikácii, hlavný koordinátor
- EJP SOIL (H2020-SFS-2019-1) „K udržateľnému a klimaticky inteligentnému manažmentu poľnohospodárskych pôd“, národný koordinátor.

Je editorkou približne 30 zborníkov a Vedeckých prác VÚPOP a editorkou klasifikačných systémov pôd v SR. Je autorkou a spoluautorkou vyše 450 vedeckých publikácií (vrátane zborníkov, štúdií, príspevkov v tlači), z čoho sú 4 monografie, 19 knižných publikácií a 18 mapových diel. Z najvýznamnejších je potrebné spomenúť „Svetová referenčná báza pre pôdne zdroje 2006“, „Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska (2014)“, „Pôdoznalecký slovník (2011)“, „Príručka pre používanie máp BPEJ (2009)“, „Urbánne pôdy (príklad mesta Bratislavy) 2007“, *Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd (2011)*“, „Návrh adaptačných opatrení na pôde pre zmierňovanie účinkov klimatickej zmeny (2010)“, *100 rokov spoločnej histórie českej a slovenskej pedológie (2018)*“, „Využitie pedometrických metód pri klasifikácii a mapovaní pôd (2013)“.

Organizovala približne 40 vedeckých podujatí (Pedologické dni), seminárov (Antropizácia pôd) a cca 10 medzinárodných exkurzií. Od roku 2021 je šéfredaktorkou vedeckého časopisu „PEDOSPHERE RESEARCH“, ktorého vydavateľom je NPPC – VÚPOP. Svojimi poznatkami a dosiahnutými výsledkami počas jej doterajšej pôsobnosti sa výrazne prispela o rozvoj pedológie, klasifikácie a hodnotenia pôd, výskumu antropogénnych a urbánnych pôd, ako aj dopadu klimatickej zmeny na pôdny kryt SR, čo ocenila aj Slovenská akadémia pôdohospodárskych vied udelenou veľkou medailou za rozvoj v oblasti pôdoznanectva a ochrany pôdy. V roku 2014 jej bola udelená Cena za vedu a techniku Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu v kategórii Celoživotné zásluhy v oblasti vedy a techniky – pôdohospodárske vedy (Vedec roka).

Za VÚPOP chcem vyjadriť svoje hlboké poďakovanie za vynikajúcu spoluprácu, profesionalitu, podporu a skvelý prístup k práci. Jarka, Tvoja odbornosť mnohých inšpirovala a pomohla im rásť a rozvíjať sa. Vďaka Tvojím skúsenostiam a odborným znalostiam by som chcel poďakovať za množstvo projektov pod Tvojím vedením, vzdelávacích aktivít a príležitostí spolupracovať s Tebou. Tvoje mentorstvo a vedenie bolo oporou mnohým kolegom počas ich vedeckej kariéry. Dokážeš ľudí nielen povzbudiť, ale aj motivovať a vytvárať pozitívnu pracovnú atmosféru. Chcem za všetkých kolegov povedať „*ďakujeme Jarka*“.

Ing. Pavol Bezák
riaditeľ NPPC – VÚPOP

Bratislava, 28. 10. 20254



MONITORING PÔD AKO ZÁKLADNÝ ATRIBÚT PÔDNEJ POLITIKY A JEHO DOPAD NA ĎALŠÍ ROZVOJ PEDOLÓGIE

Soil monitoring as a basic attribute of soil policy and its impact on the further development of pedology

Jozef Kobza, Gabriela Barančíková, Rastislav Dodok,
Jarmila Makovníková, Boris Pálka, Ján Styk (†), Miloš Širáš

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav
pôdoznalectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava*

Korešpondujúci autor:

prof. Ing. Jozef Kobza, CSc., e-mail: jozef.kobza@nppc.sk

Abstrakt

V príspevku predkladáme postavenie monitoringu pôd SR, ktorý zohráva dôležitú úlohu v pôdnej politike ako v národnom, tak aj v medzinárodnom kontexte. Monitoring pôd SR má u nás už vyše 30-ročnú tradíciu. Jeho zameranie je v súlade s Národnou stratégiou udržateľného rozvoja SR, uznesením vlády SR č. 664/2000, Štátnou pôdnou politikou, Stratégiou ochrany a využívania poľnohospodárskej pôdy, Stratégiou EÚ na ochranu pôdy. V súčasnosti prebiehajú aktivity nielen na národnej úrovni (každoročné vypracovanie podkladov do Správy o stave životného prostredia, vypracovanie a vydanie publikácie so SAŽP „Globálne megatrendy v životnom prostredí – Aktualizácia environmentálnych globálnych megatrendov a ich implikácie pre Slovensko“, vypracovanie podkladov pre Envirostratégiu BBSK), ale aj v medzinárodnom kontexte (EIONET NRC SOIL, ENVASSO, ISLANDR, IMPEL, Soil wiki monitoring, LUCAS – harmonizácia aktivít s národným monitoringom, EUSO, EJP SOIL_D 6.5 najmä v oblasti kontaminácie pôd). Eviduje sa tiež spolupráca a tvorba výstupov v súčinnosti s JRC Ispra (Taliansko) a EEA v Kodani. Zameranie na ďalšie obdobie (2023 – 2027), na ktoré bola schválená ďalšia etapa monitoringu pôd SR, kladie dôraz na ochranu poľnohospodárskej pôdy a životného prostredia, napĺňanie cieľov udržateľného rozvoja OSN (Agenda 2030) a plnenie záväzkov COP 21 (klimatická zmena). Monitoring pôd vo svojej komplexnosti (pravidelné sledovanie a hodnotenie indikátorov degradácie pôd – kontaminácia, acidifikácia, salinizácia a sodifikácia pôd, úbytok pôdnej organickej hmoty a prístupných živín, erózia a kompakcia pôd) sa tak stá-

va základným nástrojom pre ďalšie smerovanie pôdnej politiky, ako aj komplexným hodnotením aktuálnych vlastností pôd vo svojich vzájomných interakciách prispieva zároveň k ďalšiemu rozvoju pedológie.

Kľúčové slová: monitoring pôd, degradácia pôd, pôdna politika, pedológia

Abstract

In this paper, we present the status of soil monitoring in the Slovak Republic, which plays an important role in soil policy both in the national and international context. Soil monitoring in the Slovak Republic has a tradition of over 30 years. Its focus is in line with the National Strategy for Sustainable Development of the Slovak Republic, Resolution of the Government of the Slovak Republic No. 664/2000, the State Soil Policy, the Strategy for the Protection and Use of Agricultural Land, and the EU Strategy for Soil Protection. Currently, activities are underway not only at the national level (annual preparation of materials for the State of the Environment Report, preparation and publication with the Ministry of Environment „Global Megatrends in the Environment – Update of Environmental Global Megatrends and Their Implications for Slovakia“, preparation of materials for the BBSK Envirostrategy), but also in the international context (EIONET NRC SOIL, ENVASSO, ISLANDR, IMPEL, Soil wiki monitoring, LUCAS – harmonization of activities with national monitoring, EUSO, EJP SOIL_D 6.5, especially in the field of soil contamination). There is also cooperation and creation of outputs in collaboration with JRC Ispra (Italy) and EEA in Copenhagen. The focus on the next period (2023 – 2027), for which the next stage of soil monitoring in the Slovak Republic was approved, emphasizes on the protection of agricultural land and the environment, the fulfillment of the UN Sustainable Development Goals (Agenda 2030) and the fulfillment of COP 21 commitments (climate change). Soil monitoring in its complexity (regular monitoring and evaluation of soil degradation indicators – soil contamination, acidification, salinization and sodification of soils, loss of soil organic matter and accessible nutrients, erosion and soil compaction) thus becomes a basic tool for the further direction of soil policy, as well as a comprehensive assessment of current soil properties in their mutual interactions, contributing to the further development of pedology.

Keywords: soil monitoring, soil degradation, soil policy, pedology

ÚVOD

Jedným z hlavných dôležitých bodov Európskej pôdnej politiky je zabezpečenie systému monitorovania pôd v jednotlivých členských krajinách EÚ. Štátna pôdna politika SR deklaruje, že pôda je a zostane základňou environ-

mentálneho, ekologického, ekonomického a sociálneho potenciálu Slovenska, a preto musí byť starostlivo chránená pred poškodením. Novelou v oblasti poľnohospodárskeho pôdneho fondu je Zákon č. 220/2004 Z.z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a jeho novelizovaná Vyhláška MPRV SR č. 59 z 11. marca 2013, ktorá by mala viesť ku skvalitneniu a zjednoteniu štátnej správy na úseku ochrany poľnohospodárskeho pôdneho fondu s cieľom chrániť poľnohospodársky pôdny fond pred degradáciou. Aby však táto novela mohla naplniť svoje poslanie, treba poznať, čo predchádza vlastnej degradácii pôd a akým smerom sa uberá vývoj našich pôd. K tomuto zámeru slúži práve komplexný monitoring SR, ktorý sa tak stáva samozrejmovou súčasťou každého vyspelého štátu a jeho pôdnej politiky. U nás sa takýto monitorovací systém začal vytvárať a realizovať na základe Uznesenia vlády SR č. 620 zo dňa 7. septembra 1993. Vstupom SR do EÚ sme sa stali súčasťou Európskej pôdnej politiky. Jej úsilím je mobilizovať a akcelerovať všetky Európske výskumné a vedecké kapacity zaoberajúce sa pôdou, jej postavením, úlohou a funkciami v životnom prostredí s dôrazom na jej ochranu v snahe zachovať ju v dlhodobom udržateľnom stave aj pre budúce generácie. To znamená, že problém riešenia nespočíva v mechanickom zaznamenávaní získaných údajov v jednotlivých časových radoch, ale spočíva predovšetkým v jeho výskumnom a vedeckom chápaní úlohy pôdy v životnom prostredí (napr. zraniteľnosť, náchylnosť, odolnosť pôd voči antropogénnym záťažiam, hodnotenie degradačných procesov pôdy s dôrazom na jej ochranu, tiež príprava podkladov pre tvorbu a aktualizáciu pôdnej legislatívy a pod.).

V súčasnosti v európskom meradle sú evidované ako jednotné monitorovacie systémy – tzv. LUCAS a ICP-Forest, Pre výkon monitoringu pôd v Európskej komisii bolo dohodnuté, že monitorovací systém LUCAS (Land Use and Coverage Area Survey) bude pre svoje viaceré negatíva (pravidelná sieť 18x18km nezahŕňa všetky reprezentatívne pôdne typy a ich využitie, nie je vhodný svojim spôsobom pre sledovanie monitoringu erózie pôd, údaje sú poskytované farmármi, pričom ich objektivita môže byť niekedy diskutabilná a pod.) bude využívaný ako podporný systém európskeho monitoringu pôd. Na druhej strane ide už o zabehnutý a financovaný európsky systém s každoročným prísunom dôležitých informácií, čo je na druhej strane kladná stránka uvedeného systému.

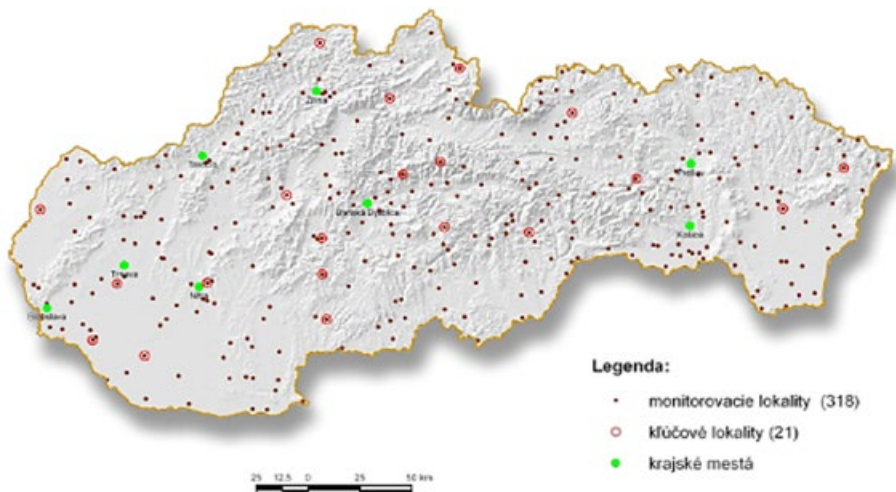
Čo sa týka zabezpečovania systému monitorovania pôd v SR, jeho princípy, parametre, metódy, boli už uvedené vo viacerých predchádzajúcich prácach. (najmä Linkeš *et al.* 1997, Kobza *et al.* 2002, 2009, 2014, 2019, 2024). V porovnaní s Európskym dokumentom o monitoringu pôd (van Camp *et al.*

2004) možno konštatovať, že systém monitorovania pôd v SR už v súčasnosti predstavuje priaznivý východzí stav do zapojenia sa do Európskej pôdnej monitorovacej siete (výberom monitorovacích lokalít na základe ekologického princípu pri zohľadnení heterogenity pôdneho pokryvu, klimatických oblastí, stupňa znečistenia, výberom sledovaných parametrov, kompatibilným súradnicovým systémom WGS 84 a pod.). Niektoré doporučené parametre a indikátory EK sú zahrnuté v ostatných čiastkových monitorovacích systémoch životného prostredia, kde aj monitoring pôd je realizovaný ako Čiastkový monitorovací systém – Pôda (ČMS-P) už od roku 1993.

MATERIÁL A METÓDY

Základná pôdna monitorovacia sieť Slovenska

Sieť 318 monitorovacích lokalít na poľnohospodárskych pôdach a pôdach nad hornou hranicou lesa (lokalizované v JTSK a WGS 84) (Obr. 1).



Obrázok 1 Sieť monitorovacích lokalít SR na poľnohospodárskych pôdach a pôdach nad hornou hranicou lesa

Odber pôdnych vzoriek na chemický rozbor

Orné pôdy: na každej monitorovacej ploche sa pôdne vzorky odoberajú z pedologickej sondy (stredná časť monitorovacej plochy) v hĺbke 0 – 10 cm a 35 – 45 cm

Pôdy pod trvalými trávnyimi porastami: na každej monitorovacej ploche sa pôdne vzorky odoberajú z pedologickej sondy taktiež v hĺbke 0 – 10 cm a 35 – 45 cm

Zároveň na vybraných (najmä zaťažených lokalitách) sa odoberá aj rastlinná

vzorka (na orných pôdach nadzemná aj podzemná časť, pod trvalými trávnymi porastami len nadzemná časť).

Odber pôdných vzoriek na základný fyzikálny rozbor

Tento odber sa zabezpečuje prostredníctvom fyzikálnych valčekov o objeme 100 cm³ nasledovne: 3 valčeky z hĺbky 0 – 10 cm a 3 valčeky z hĺbky 30 – 40 cm. Fyzikálne valčeky sa odoberajú v celej monitorovacej sieti s výnimkou lokalít, kde sú pôdy značne skeletnaté, plytké a fyzikálne valčeky nie je možné odobrať. V prípade, že je ornica čerstvo zoraná, alebo podmietnutá, fyzikálne valčeky z ornice sa neodoberajú.

Pôdne vzorky zo základnej siete sa odoberajú počas vegetačného obdobia – t. j. v období, kedy pôdne vlastnosti sú prevažne stabilizované (nenarušované orbou, prihnojovaním a pod.), čo je v našich podmienkach približne máj – jún. Periodicita odberu vzoriek v základnej sieti je 5 rokov.

Monitorované indikátory podľa ohrozenia pôd (Kobza *et al.* 2011)

Kontaminácia pôd: Cd, Cr, Pb, Ni, Zn, Cu, Se, Co (rozklad lúčavkou kráľovskou), Hg (celkový obsah – analyzátor AMA), F vodorozpustný, As, Cu Ni, Zn, Cd, Pb (vo výluhu 1 M NH₄NO₃).

Acidifikácia pôd: pH/H₂O, pH/KCl, pH/CaCl₂, KVK (kationová výmenná kapacita), výmenné katióny (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺), aktívny Al (len ak pH/KCl < 6,0).

Salinizácia a sodifikácia pôd: elektrická vodivosť (ECe), obsah výmenného Na v sorpčnom komplexe pôdy (ESP), sodíkový adsorpčný pomer (SAR), pH/H₂O, výmenné katióny a anióny (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻).

Kvantitatívne a kvalitatívne zloženie pôdnej organickej hmoty: C_{ox}, N_p, C_{HK}/C_{FK}, Q₆, elementárna analýza (C, H, N, O).

Obsah makro- a mikroživín: P, K, Mg (Mehlich III.), Cu, Zn, Mn (DTPA).

Kompakcia pôdy: objemová hmotnosť, pórovitosť, maximálna kapilárna kapacita, zrnitosť (USDA).

Erózia pôdy: ¹³⁷Cs, pH/KCl, C_{ox}, P, K, zrnitosť (USDA).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Aktuálny stav a vývoj poľnohospodárskych pôd Slovenska podľa ich ohrozenia

Kontaminácia pôdy

Zdroje kontaminantov v pôde sú rôzne, môžu pochádzať z prírodných zdrojov ako aj z antropogénnych činností. Prirodzené obsahy prvkov v pôde závisia od obsahov týchto prvkov v materskej hornine a od textúry pôdy, nakoľko

väčšina prvkov je asociovaná s jemnými časticami vyznačujúcimi sa vysokou adsorpčnou schopnosťou (Naidu 1996). Celkový obsah rizikových prvkov v pôde zahŕňa všetky formy, v ktorých sa tento prvok v pôde vyskytuje. Vplyv ťažkých kovov na životné prostredie je zvýraznený ich nedegradovateľnosťou. Ťažké kovy prebiehajú globálnym ekologickým cyklom, v ktorom hlavnú úlohu má pôda a voda. Pôda však nevystupuje ako pasívny akceptor ťažkých kovov, znečistená pôda sa stáva zdrojom znečistenia ostatných zložiek životného prostredia a potravinového reťazca (Makovníková *et al.* 2006). Pôda ako filter zachytáva cudzorodé látky organického aj anorganického charakteru. Schopnosť pôdy imobilizovať rizikové prvky patrí k dôležitým ekosystémovým službám, predovšetkým z pohľadu ochrany hydrosféry a rastlinnej produkcie pred kontamináciou (Demo *et al.* 1998, Makovníková 2000, Kanianska *et al.* 2016, Makovníková *et al.* 2017).

V monitoringu pôd SR je sledovaný obsah rizikových prvkov (rozkladom lúčavkou kráľovskou pre As, Cd, Co, Cr Cu, Ni, Pb, Zn) len v tých pôdach, kde obsah rizikových prvkov v predchádzajúcom cykle bol vyšší ako 80 % limitnej hodnoty podľa Vyhlášky 59/2013 MPRV SR, ktorou sa mení a dopĺňa Zákon o pôde 220/2004 Z. z. (porovnanie je teda možné len od 4. cyklu, kedy došlo k zmene legislatívy).

Na základe doteraz dosiahnutých výsledkov bolo zistené, že pôdy, ktoré boli kontaminované v minulosti sú kontaminované aj v súčasnosti, a preto ich bude potrebné aj v budúcnosti pravidelne monitorovať.

Acidifikácia pôdy

Priamym indikátorom stavu acidifikácie pôdy je hodnota pôdnej reakcie ako faktor intenzity (analytické stanovenie pôdnej reakcie ako relatívne dynamického parametra priamo indikuje stav a vývoj procesov acidifikácie), ako aj pomer ekvivalentných množstiev výmenných kationov $\text{Al}^{3+}/\text{Ca}^{2+}$ (Grišina, Baranova 1990) v sorpčnom komplexe pôdy, ktorý indikuje stupeň degradácie pôdy. Trend znižovania hodnôt pôdnej reakcie v skupinách pôd s hodnotou pôdnej reakcie v slabo kyslej a kyslej oblasti je nepriaznivý predovšetkým v súvislosti s vysokou mierou zápornej korelácie medzi hodnotami pôdnej reakcie a obsahom aktívneho hliníka ($r = -0,84$) (Makovníková, Kanianska 1996, Kozák, Borůvka 1998, Makovníková 2005, Hiradate 2004, Meriño-Gergichevich 2010). Toxicita voľných kationov hliníka má negatívny vplyv na celkový zdravotný stav rastlín (Mačuha 1999).

Salinizácia a sodifikácia pôdy

Salinizácia (zasoľovanie) je proces akumulácie neutrálnych sodných solí v pôde, predovšetkým chloridu sodného (NaCl) a síranu sodného (Na_2SO_4). Indikátorom procesu salinizácie je jednak celkový obsah rozpustných solí v pôde získaný su-

chým odparkom (105°C) vodného výluhu pôdy a jednak merná elektrická vodivosť nasýteného extraktu pôdy (ECe) (Hraško 1962).

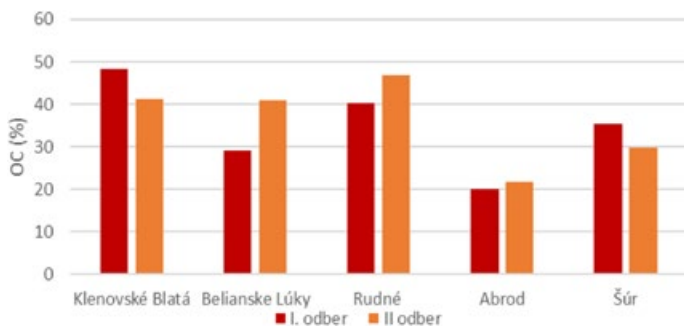
Sodifikácia (slancovanie) je proces viazania výmenného sodíka na sorpčný komplex pôd. Tento proces je podmienený prítomnosťou alkalických solí v pôde, predovšetkým uhličitanu sodného (Na_2CO_3), hydrogénuhličitanu sodného (NaHCO_3) a kremičitanu sodného (Na_2SiO_3). Indikátorom procesu sodifikácie je jednak obsah výmenného sodíka v sorpčnom komplexe (ESP) a jednak pôdna reakcia (pH) (Sotáková 1988, Valla *et al.* 1983).

Na základe analýz procesov salinizácie a sodifikácie môžeme monitorované lokality rozdeliť do štyroch skupín. V prvej skupine sú pôdy lokalít Iža a Gabčíkovo bez výraznejších prejavov soľných procesov. V druhej skupine sú lokality Komárno-Hadovce so slabou salinizáciou aj sodifikáciou a Zemné so slabou sodifikáciou. V tretej skupine je lokalita Zlatná na Ostrove s prejavmi stredne intenzívnej sodifikácie. A vo štvrtej skupine sú pôdy na lokalitách Kamenín, Žiar nad Hronom a Malé Raškovce so silnými procesmi salinizácie aj sodifikácie. Bolo zistené, že procesy salinizácie a sodifikácie prebiehajú viac-menej paralelne, pričom sa ukazuje, že proces sodifikácie je dominantný.

Pôdna organická hmota

Na základe výsledkov posledného 6. monitorovacieho cyklu pôdnej organickej hmoty môžeme konštatovať, že najvyšší obsah uhlíka počas celého monitorovacieho obdobia bol zistený v pôdach podzolov, rankrov, litozemí a andozemí, ktoré sa nachádzajú vo vyšších nadmorských výškach, a najnižšie hodnoty POC sa dlhodobo udržiavajú na regozemiach (Kobza *et al.* 2024).

Zmeny v kvalitatívnych parametroch pôdneho humusu sú zatiaľ minimálne a málo výrazné. Relatívne stabilná a vyzretá POH bola zistená na černozeiach a čierniciach (vysoké hodnoty $C_{\text{HK}}/C_{\text{FK}}$, kde prevládajú stabilnejšie humínové kyseliny). V poslednom období sa venujeme aj rašelinám na vybraných siedmich lokalitách, kde máme zastúpené vrchoviskové, slatinné rašeliny, ako aj rašeliny prechodného typu. Z hodnotených rašelinísk najvyšším obsahom organického uhlíka (OC) disponuje vrchovisko Rudné a prechodné rašelinisko Klenovské Blatá. V priebehu 10 rokov najvyšší nárast OC bol zaznamenaný na slatinnom rašelinisku Belianske lúky (Obr. 2).



Obrázok 2 Porovnanie vývoja obsahu organického uhlíka (%) na jednotlivých rašeliniskách v hĺbke 20 cm

Prístupné makroživiny (P, K, Mg) a mikroživiny (Cu, Zn, Mn)

V dôsledku zníženia hnojenia naďalej pokračuje úbytok prístupných živín najmä na orných pôdach, čo poukazuje na deficit hnojenia. Od roku 1993 (začiatok monitorovania pôd) zisťujeme priemerný úbytok prístupného fosforu a draslíka v poľnohospodárskych, najmä orných pôdach v priemere o 10–30 %. Obsah prijateľného horčíka je stále dobrý až vysoký (s výnimkou veľmi kyslých pôd, ako sú podzoly a rankre podzolové), pohybuje sa v priemernom rozpätí 200–400 mg.kg⁻¹. To poukazuje na prirodzene dobrú prirodzenú zásobenosť našich pôd týmto prvkom, pretože ani v minulosti ani v súčasnosti sa horčík do pôdy nedodával (s výnimkou vápenato-horečnatých hmôt – napr. dolomitických vápencov za účelom vápnenia kyslých pôd) (Kobza *et al.* 2024).

Čo sa týka obsahu mikroživín (Cu, Zn, Mn), tento je v súčasnosti prevažne stredný, aj keď v poslednom období zaznamenávame ich mierny pokles. Prípadné lokálne deficity prejavované určitými karenčnými poruchami poľných plodín je možné napraviť formou foliárneho postreku príslušnou živinou ako ekonomicky najprijateľnejší spôsob (Kobza & Gáborík 2008).

Kompakcia pôdy

Medzi najrizikovejšie pôdne typy patria pôdy s jednostranne vysokým obsahom prachu (hlavne hrubého) v pomere k nedostatočnému obsahu ílu (nízka schopnosť agregácie a navyše voľný prach upcháva gravitačné póry) v ornici a so zvýšeným obsahom ílu v podornici (horizont s výrazne zníženou priepustnosťou vody do hlbších vrstiev pôdy – iluviálny luvický horizont). Patria tam aj pôdy dlhodobo ovplyvnené povrchovou, alebo podzemnou vodou, prípadne majú nevhodné, či nadmerné zastúpenie solí vo svojom profile: luvizeme, pseudogleje, gleje, slance, slaniská. Tieto pôdne typy zaberajú na Slovensku viac ako 10 % výmery poľnohospodárskej pôdy (Tab. 1) (Kobza *et al.* 2024).

Tabuľka 1 Percentuálny podiel zhutnených lokalít v rámci hlavných pôdnych typov resp. druhov (priemer zo šiestich odberových cyklov 1993 – 1997 – 2002 – 2007 – 2013 – 2018)

Časť pôdy	Hĺbka pôdy	1	2	3	4	5	6
Ornica (10 – 20 cm)	Lahká	8	–	0	–	–	–
	Stredne ťažká	22	31	25	30	25	30
	Ťažká	34	–	34	40	34	42
Podornica (30 – 40 cm)	Lahká	8	–	0	–	–	–
	Stredne ťažká	50	42	57	58	66	77
	Ťažká	62	–	63	88	75	85
Vysvetlivky: 1 – čiernica, 2 – černoze, 3 – fluvizem, 4 – hnedozem, 5 – kambizem, 6 – pseudoglej							

Erózia pôdy

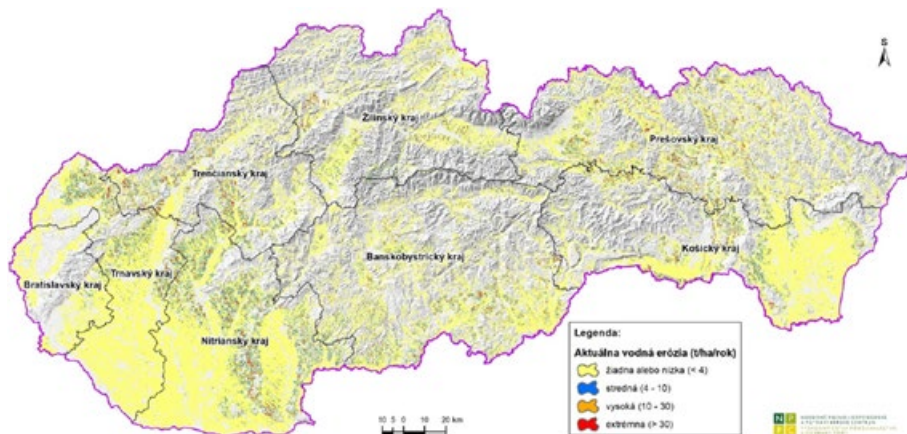
Pri modelovaní intenzity vplyvu vodnej erózie na pôdu a jej plošnej distribúcie sme využili aktualizovanú verziu erózneho predikčného modelu USLE. V jeho základnej štruktúre bola zohľadnená aktualizovaná digitálna podkladová vrstva faktora erozivity dažďa (R-faktor) (Kobza *et al.* 2024). To je dôvod prečo sú súčasné výmery potenciálnej vodnej erózie vyššie v porovnaní s rokmi, kedy sa vo výpočte používali pôvodné hodnoty R-faktora (Malíšek, 1992) (Tab. 2). Negatívny vplyv vodnej erózie sa potenciálne prejavuje (potenciálna erózia nezohľadňuje aktuálny rastlinný pokryv) na 52,5 % výmery poľnohospodárskej pôdy SR.

Pri zohľadnení aktuálneho rastlinného pokryvu (aktuálna erózia) plošná výmera vodnej erózie (kategórie erodovanosti stredná až extrémna) poklesla na necelých 12,8 % výmery poľnohospodárskej pôdy (Obr. 3).

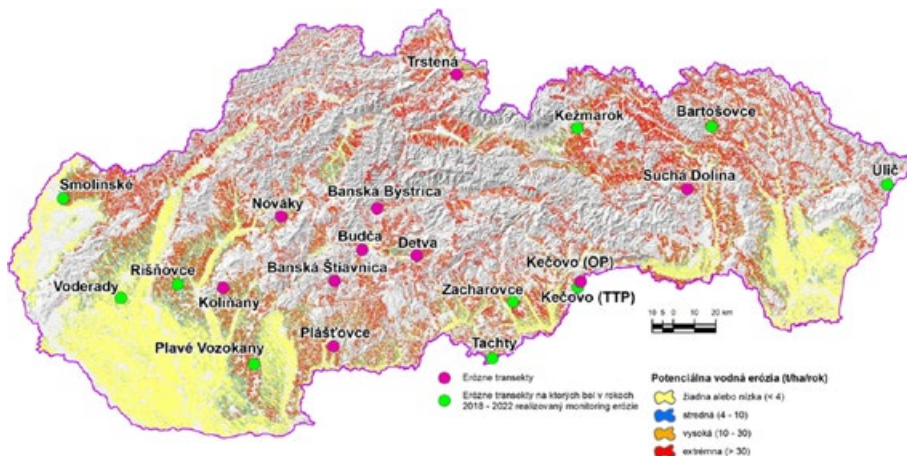
Tabuľka 2 Potenciálna a aktuálna erózia poľnohospodárskej pôdy

Pôda evidovaná v registri GSAA	Potenciálna erózia		Aktuálna erózia	
Kategórie erodovanosti (strata pôdy)	Výmera (ha)	% z PP	Výmera (ha)	% z PP
Žiadna, alebo nízka (0 – 4 t/ha/rok)	864 373	47,5	1 584 991	87,2
Stredná (4 – 10 t/ha/rok)	175 870	9,7	127 683	7,0
Vysoká (10 – 30 t/ha/rok)	251 892	13,8	81 955	4,5
Extrémna (viac ako 30 t/ha/rok)	526 678	29,0	24 184	1,3
Spolu	1 818 813	100,0	1 818 813	100,0

Monitoring vodnej erózie má význam z pohľadu predikcie jej negatívneho účinku na hlavných pôdnych predstaviteľoch, ako aj pri výbere a realizácii vhodných protieróznych postupov v zhode so zákonom 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Realizuje sa na 20 erózných transektoch (Obr. 4).



Obrázok 3 Mapa aktuálnej vodnej erózie

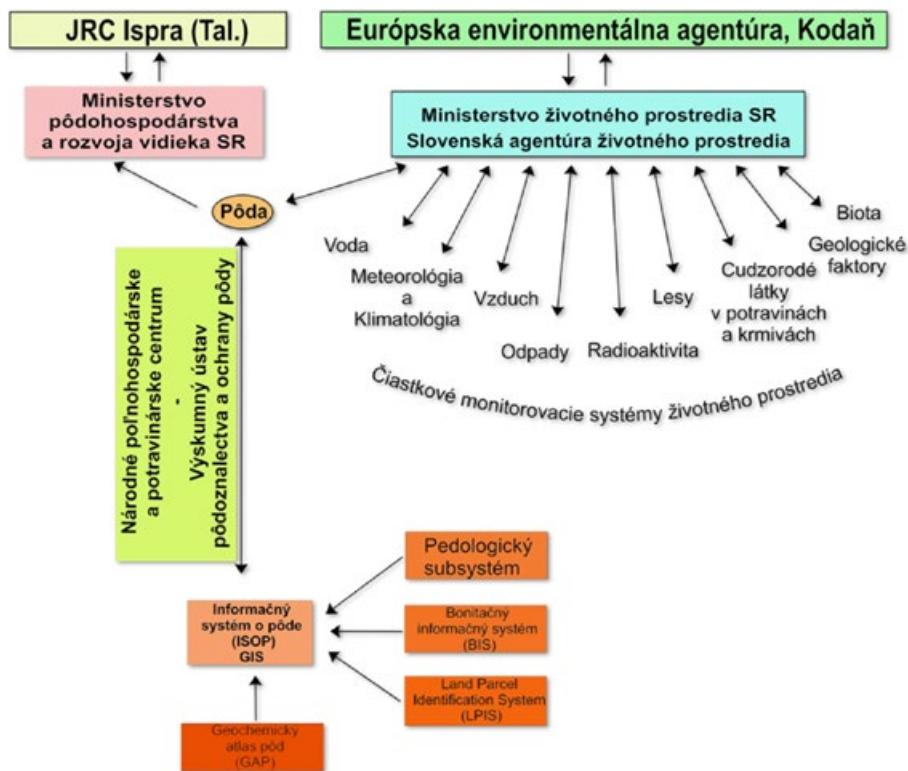


Obrázok 4 Mapa potenciálnej vodnej erózie s rozmiestnením erózných transektov

Informačný systém Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda ako súčasť informačného systému monitoringu životného prostredia SR a EÚ a poskytovanie geopriestorových informácií

Po vstupe SR do EÚ (1.5.2004) riešiteľský kolektív aktívne participuje na tvorbe a zdokonaľovaní európskeho informačného systému o pôdach, najmä v oblasti monitoringu pôd aj prostredníctvom Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR – Slovenskej agentúry životného prostredia (SAŽP) a Európskej Environmentálnej Agentúry (EEA) a súčasne sa spoluriešiteľsky podieľa na vytváraní a sprístupňovaní vybraných súborov geopriestorových informácií o pôde tiež vo vzťahu k JRC (Spojené výskumné centrum) (Obr. 5). Ide o participáciu pri tvorbe údajov pre potreby ochrany pôdy a území v prostredí geografického informačného systému (GIS).

Pre verejnosť sú publikované priestorové a atribútové údaje monitoringu ČMS –



Obrázok 5 Implementácia ČMS – Pôda medzi čiastkové monitorovacie systémy a tok informácií medzi EEA a SR

Pôda dostupné cez Enviroportal na stránke informačného systému monitoringu životného prostredia SR, na stránke informačného systému environmentálnych záťaží (ISEZ), alebo cez sieťové služby (WMS, WGS, REST API, SOAP), ktoré publikuje NPPC – VÚPOP (Tab. 3).

Tabuľka 3 Prehľad sieťových služieb ČMS – Pôda poskytovaných NPPC – VÚPOP

Web Map Service (WMS)	Verzia: 1.3.0 1.1.1	https://portal.vupop.sk/arcgis/services/CMS/cms_rest/MapServer/WMServer?request=GetCapabilities&service=WMS
REST API SOAP	https://portal.vupop.sk/arcgis/rest/services/CMS_poda	

Monitoring pôd SR v kontexte s iniciatívami EÚ

- ENVASSO (Environmental Assessment of Soil for Monitoring),
- IMPEL (European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law) – implementácia environmentálnej legislatívy EÚ,
- ISLANDR (Information-Based Strategies for Land Remediation) v rámci Horizon Europe v oblasti difúznej kontaminácie pôd,
- harmonizácia národných monitoringov pôdy s projektom LUCAS (Land Use and Coverage Area Survey),
- EUSO (Európske observatórium pre pôdu) – jednou z dôležitých aktivít je práve vytvorenie harmonizovaného rámca pre monitorovanie pôdy v Európe,
- účasť na projekte EJP SOIL_D 6.5 (Guidelines for accounting and monitoring agricultural soil carbon fertility and degradation changes at different scales), (Andrenalli *et al.* 2023, Baritz *et al.* 2023)
- spolupráca s JRC (Joint Research Centre) v Ispre (Tal.) a s EEA (European Environment Agency) v Kodani pri tvorbe výstupov za SR najmä v oblasti kontaminácie pôd,
- Smernica EP a Rady o monitorovaní a odolnosti pôdy (Smernica o monitorovaní pôdy), EK, 2023.

Spolupráca v rámci uvedených iniciatív sa prejavuje hlavne s poskytovaním požadovaných výstupov, vyplňovaním dotazníkov, vypracovávaním recenzií na pripravované európske dokumenty, apod. Okrem medzinárodných aktivít kolektív riešiteľov sa podieľa aj na spracovávaní podkladov v rámci národných iniciatív. Každoročne pripravujeme podklady do Správy o stave životného prostredia na vyžiadanie MPRV SR, ako aj MŽP SR, podieľali sme sa na vypracovaní publikácie „Globálne megatrendy v životnom prostredí – Aktualizácia environmentálnych globálnych megatrendov a ich implikácie pre Slovensko“ (Považan *et*

al. 2023), taktiež regionálne na príprave publikácie „Envirostratégia pre BBSK“, ktorá je v súčasnosti v schvaľovacom procese.

V súvislosti s poslednou uvedenou smernicou o monitorovaní a odolnosti pôd (Soil Monitoring Law), ktorý predložila Európska komisia (EK) 7. júla 2023, budeme sa musieť pomerne rýchlo vyrovnáť s určitými nedostatkami, ktoré sa vyskytli v doterajšom procese monitorovania a harmonizovať naše národné aktivity s odporúčaním Európskej komisie.

Problémy riešenia a návrh systémových opatrení

V porovnaní so začiatkom realizácie monitoringu pôd SR v roku 1993 došlo k výraznému zníženiu finančných prostriedkov! Z uvedených rozpočtov nebolo a nie je stále možné čerpať kapitálové prostriedky (na obnovu laboratórnej a prístrojovej techniky, nákup modernejšieho hardvéru a softvéru a pod.).

Na základe vyššie uvedeného sme boli preto nútení pristúpiť k nevyhnutnej redukcii sledovaných parametrov:

Kontaminácia pôdy – prišli sme k výraznej redukcii počtu analýz rizikových prvkov. Z technických dôvodov v súčasnosti neanalyzujeme selén (Se), je potrebné doriešiť analýzy biopristupných foriem rizikových prvkov vo výluhu 1M NH_4NO_3 . Taktiež je potrebné doriešiť analýzy organických polutantov (PAU, PCB, NEL, reziduá pesticídov a ďalšie).

Acidifikácia pôdy – bude potrebné doriešiť analýzy výmenných kationov a hodnôt S, T, V.

Salinizácia a sodifikácia pôdy – z dôvodu nedostatku financií sa sleduje len na 8 vybraných lokalitách v rámci SR (samozrejme v oblastiach, kde sú tieto procesy relevantné).

Prístupné makroživiny P, K, Mg – pôvodne sa analyzovali v ornici aj v podornici, v súčasnosti sa analyzujú kvôli nedostatku financií už len v ornici, aj napriek tomu, že je o ne záujem tak ako z poľnohospodárskej praxe, tak aj zo strany výrobcov priemyselných hnojív. Taktiež na začiatku monitorovania pôd sme sledovali a hodnotili aj jednotlivé frakcie živín, ktoré sme museli podobne z finančných dôvodov vypustiť, navyše sa nám ich na novom pracovisku zatiaľ nepodarilo zabehnúť, aj napriek ich záujmu zo strany praxe.

Prístupné mikroživiny – bol taktiež zredukovaný sortiment mikroživín, v súčasnosti pravidelne sledujeme a hodnotíme len meď (Cu), zinok (Zn) a mangán (Mn) a to len v ornici. Vhodné by bolo rozšírenie ďalších prvkov, ako je Mo, B, Fe, S a pod., o ktoré je záujem ako v praxi, tak aj pre výrobcov priemyselných hnojív, kde sa tieto prvky často pridávajú do hnojív. Na Slovensku sme v súčasnosti jediní, kto sa touto problematikou zaoberá (ÚKSUP ich už v súčasnosti nestanovuje).

Úbytok pôdnej organickej hmoty – organický uhlík (Cox) a frakcionácia humusu (kvalita organického podielu v pôde) – frakcionácia humusu sa vykonáva len v ornici za predpokladu, že $Cox > 0,5$.

Fyzikálna degradácia pôdy – kompakcia a erózia: sleduje sa len na ornej pôde, aj to jedine na lokalitách, kde bol možný odber pôdných vzoriek pomocou fyzikálnych valčekov o objeme 100 cm³. Na čerstvo zoranej, alebo silne skeletnatej pôde odber vzoriek nie je možný, čo je asi 25 % lokalít základnej siete (cca 80 lokalít). Aktuálny erózný znos sa sleduje na vybraných 20-tich transektoch v rámci SR. Vhodné by bolo využiť vo väčšom rozsahu rádioaktívny izotop ¹³⁷Cs (s polčasom rozpadu cca 35 rokov), ktorý sa javí i z celoeurópskeho pohľadu ako vhodný značkovací prvok pre sledovanie odnosu zeminy pri erózii pôdy.

Poznámka: Treba si uvedomiť, že redukcia analýz je možná len do únosnej a prijateľnej miery, aby sa výrazne nenarušila kontinuita meraní a ich hodnotenia. Každoročne predkladáme podklady z monitoringu pôd SR do Správy o stave ŽP (pre MPRV SR a MŽP SR), ako aj vo vzťahu k EU. V prípade chýbajúcich údajov by sme tieto ťažko ospravedlňovali.

Smerovanie monitoringu pôd v budúcnosti

V snahe priblížiť sa k optimálnemu zabezpečeniu realizácie monitoringu pôd SR bude v budúcnosti potrebné zamerať sa viac na nasledovné odborné okruhy:

- stále je otvorená problematika mikrobiológie ako živej zložky pôdy (tu sa predpokladajú najvýraznejšie zmeny), ktorú z finančných dôvodov nie sme zatiaľ schopní zabezpečiť;
- nestačí len riešiť akútne koncentrácie kontaminantov, bude potrebné sa v budúcnosti zaoberať aj ich rezíduami, rozkladnými produktmi, ktoré pretrvávajú v pôde desiatky rokov s negatívnymi následkami na celé životné prostredie;
- významná je aj problematika organických polutantov (PAU, PCB, NEL, pesticídy a pod.), tieto sme začali v 1. monitorovacom cykle monitorovať a hodnotiť, avšak v ďalších cykloch sme od nich upustili v dôsledku neustálej redukcie finančných prostriedkov, na ktoré sú tieto analýzy pomerne náročné, i keď je v praxi o tieto informácie značný záujem;
- dôraz treba klásť nielen na kvantitatívne, ale aj kvalitatívne indikátory vlastností pôd (kvalita pôdneho humusu, frakcionácia humínových kyselín, frakcionácia živín, bioprístupné formy rizikových prvkov a pod.), čím sa výrazne zvyšuje výpovedná hodnota sledovaných ukazovateľov úrodnosti pôdy, ako aj možných degradačných procesov, ktoré často nie sú v teréne viditeľné a ktoré monitorujeme len čiastočne (na vybraných monitorovacích lokalitách);

- uvedené indikátory by bolo vhodné sledovať nielen v ornici, ale aj v podornici, príp. aj v hlbšej časti pôdneho profilu, čo je významné najmä v súvislosti s hlboko koreniacimi plodinami, ako aj v súvislosti s ochranou kvality podzemných vôd. Z dôvodu nedostatku finančných prostriedkov sme boli nútení sledovanie niektorých indikátorov v podornici prerušiť, resp. obmedziť;
- vzhľadom k tomu, že pôdna monitorovacia sieť Slovenska (318 monitorovacích lokalít – v súčasnosti už len 315 lokalít) je prvou záchytnou sieťou pre indikáciu nepriaznivých parametrov pôdy, v prípade ich zistenia v konkrétnych regiónoch je vhodné vykonať detailnejší prieskum (rozsah poškodenia) spolu s ich vyhodnotením a návrhom regulačných opatrení na zlepšenie nepriaznivého stavu, na čo sú potrebné ďalšie finančné prostriedky. Je to jediná cesta, ako zistiť presnú výmeru aktuálneho poškodenia našich pôd;
- namerané údaje z monitoringu pôd SR (od roku 1993) sú súčasťou tvorby a aktualizácie databázy ČMS-Pôda, ako aj tvorby požadovaných výstupov v súčinnosti so SAŽP v Banskej Bystrici (gestor informačného systému monitoringu životného prostredia), taktiež v rámci Pôdneho portálu NPPC-VÚPOP Bratislava, ako aj v rámci jej možnej kompatibility s európskym centrom pre pôdu Joint Research Centre (JRC) so sídlom v Ispre (Taliansko), ako aj s Európskou environmentálnou agentúrou (EEA) so sídlom v Kodani (Dánsko), na čo sú potrebné tiež určité finančné kapacity;
- každoročne vypracúvame a poskytujeme podklady do Správy o stave životného prostredia SR, ako aj smerom k JRC a EEA, tieto aktivity nie sú však finančne zabezpečované, ako aj ďalšie požadované reportinky z ČMS-P;
- výsledky monitoringu pôd sa využívajú taktiež pri tvorbe a aktualizácii platnej legislatívy o pôde;
- predmetom monitoringu pôd SR je poľnohospodárska pôda (orná pôda, pôda pod trvalými trávnyami porastami, pásma ochrany vôd, špeciálne kultúry – vinnice, chmeľnice), ako aj pôda nad hornou hranicou lesa, ktorú nemonitorujú ani lesníci. V budúcnosti bude potrebné na základe všeobecného dopytu zo strany odbornej verejnosti viac sa venovať pôdam, ktoré sa využívajú na energetické účely (pod vrbami, topoľmi, paulowniou, a pod.), ako aj rašelinám, najmä v súvislosti s klimatickou zmenou. Tieto odborné okruhy sme čiastočne už aj zaradili do nášho systému monitorovania pôd, keďže je o túto problematiku všeobecný záujem. Taktiež v budúcnosti by bolo vhodné sa zamyslieť aj na monitorovaní aspoň niektorých ovocných sádov a záhrad, detských ihrísk, urbánnych pôd a pod., čo sú prevažne pôdy v intravilánoch, čiže nejedná sa o poľnohospodársku pôdu;
- dobudovanie kvalitného archívu pôdných vzoriek s vhodnými priestormi pre

ich prípravu a homogenizáciu a vhodnej archivácie (bez možnosti ich sekundárnej kontaminácie), čo bude vyplývať aj z novej európskej legislatívy;

- dobudovanie kvalitného akreditovaného chemického, fyzikálneho, ako aj mikro-biologického laboratória so stabilným personálom pre jednotlivý druh vykonávaných analýz;
- dobudovanie informačného systému monitoringu pôd SR.

Treba mať na pamäti, že monitoring pôd zahŕňa celý zložitý komplex prác, ktoré zahŕňajú terénne práce, laboratórne práce, ako aj vyhodnocovacie práce a príprava pomerne širokého spektra výstupov, ako už bolo uvedené vyššie. Taktiež treba zvážiť, že od začiatku realizácie monitoringu pôd SR ceny chemikálií, analýz a prístrojov sa značne zvýšili, ako aj ostatného technického vybavenia, taktiež aj cena práce, pričom trend pridelených financií mal opačnú tendenciu. Dostávame sa tak v súčasnosti do krízového režimu, v ktorom sme boli nútení pristúpiť aj my k určitej redukcii výkonu prác, ako sme už uviedli vyššie.

Pri ďalšej redukcii finančných prostriedkov by došlo nielen k ďalšej redukcii prác, ale čo je dôležitejšie aj k prerušeniu kontinuity prác v jednotlivých monitorovacích cykloch, v nadväznosti na ich merania a vyhodnocovania, ako aj k obmedzeniu reportingu dát vo vzťahu k odberateľom, ako v rámci SR, tak aj vo vzťahu k EÚ, čo dúfame, nie je naším zámerom ako člena EÚ. Chceme taktiež zdôrazniť, že realizácia monitoringu pôd v SR bolo splnenie jedného zo základných bodov európskej pôdnej politiky ešte pred našim vstupom do EÚ, čo sme vtedy naplnili a mali by sme v ňom i naďalej pokračovať a nadviazať tak na doteraz úspešné plnenie prác ako v rámci Slovenska, tak aj v európskom priestore. Totiž v prípade, že by sme prestávali poskytovať naďalej objektívne informácie o aktuálnom stave a vývoji našich pôd, priestor by mohli dostať nezainteresovaní aktéri, ktorí by sa to snažili využiť vo svoj prospech a skresľovaniu imidžu našej krajiny najmä vo vzťahu k neobjektívnej a často aj zavádzajúcej informovanosti obyvateľstva ako na Slovensku, tak aj vo vzťahu k zahraničiu.

ZÁVER

Dosiahnuté výsledky monitoringu pôd SR sú využiteľné v poľnohospodárskej praxi, v decíznej sfére, v rôznych rezortoch a odvetviach národného hospodárstva, tak aj vo vede a v ďalšom výskume pôd či už vo vedeckých inštitúciách, ako aj na univerzitách najmä environmentálneho, poľnohospodárskeho a lesníckeho zamerania. Dosahované výsledky sú zhodnocované v rámci výkonu Pôdnej služby (v zmysle Zákona 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy) pre široký okruh objednávateľov. Taktiež získané výsledky sú priebežne spracované, vyhodnocované a prezentované formou výskumných správ, odbor-

ných a vedeckých publikácií, metodík a príspevkov na našich i medzinárodných vedeckých podujatiach. Získané poznatky sú tiež podkladom pre vypracovanie každoročných správ o stave životného prostredia SR, zelenej správy a pod. Získané informácie sú taktiež reportované v spolupráci so SAŽP (Slovenská agentúra životného prostredia) v Banskej Bystrici vo vzťahu k EÚ najmä k JRC (Joint Research Centre) so sídlom v Ispre (Taliansko) a EEA (European Environment Agency) so sídlom v Kodani (Dánsko) a slúžia k tvorbe aktuálnych výstupov o pôde v európskom meradle. Ide aj o uplatnenie poznatkov aj medzinárodnom meradle – napr. v štruktúre európskej siete monitoringu pôd pri tvorbe databázy a tvorbe výstupov v rámci EÚ.

I keď celkový ekonomický prínos výsledkov riešenia nie je jednoduché vyčíslieť, rozsah využitia výsledkov riešenia prekračuje hranice SR a rozširuje sa na celé územie EÚ, čím sa celkový ekonomický prínos ešte viacnásobne zvyšuje. Zároveň komplexným posudzovaním celého radu vlastností pôd vo vzájomnej interakcii sa riešenie monitoringu a jeho dosiahnutými výsledkami v priestore a čase stáva taktiež významným prínosom pre ďalší rozvoj pedológie.

POĎAKOVANIE

Riešiteľský kolektív pri tejto príležitosti ďakuje vedeniu NPPC – Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy ako aj rezortu Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR za vytvorenie podmienok a nevyhnutného finančného zabezpečenia potrebného pre realizáciu celoplošného monitorovania pôd na Slovensku v rámci kontraktu No 720/2023/MPRV SR. – 930.

LITERATÚRA

- Andrenelli, M.C., Armolaitis, K., Aponte, C., Arrouays, D., Assennato, F., Bakacsi, Z., Barbetti, R., Basile, A., Bevivino, A., Bispo, A., Blombäck, K., Borůvka, L., Buttafuo-co, G., Cagnarini, C., Calzolari, C., Callewaert, S., Cockx, K., Cousin, I., D'Avino, L., Deproost, P., Faber, J., Fantappiè, M., Feiza, V., Feizienė, D., Froger, C., Hessel, R., Jacomini, C., Kadžulienė, Ž., Karcauskiene, D., Klimkowicz-Pawlas, A., Kobza, J., Koganti, T., Lacoste, M., C. Lozano-Fondón, C., Lumini, E., Madenoglu, S., Marinosci, I., Mocali, S., Molnár, S., Munafò, M., Murugan, R., Napoli, R., Oorts, K., Pásztor, L., Pellegrini, S., Piccini, C., Poeplau, C., Riitano, N., Sagova-Mareckova, M., Salomez, J., Stenberg, B., Swerts, M., Tagliaferri, E., Takács, K., Trinchera, A., Vaudour, E., Vignozzi, N., Vinci, I., Wetterlind, J. (2023). EJP SOIL. Towards climate-smart sustainable management of agricultural soils. Deliverable 6.5. Guidelines for accounting and mapping agricultural soil carbon, fertility and degradation changes at different scales. European Joint Project, 219 p.
- Baritz, R., Prokop, G., Trombetti, M. (Eds.) (in prep.) (2023). *Soil monitoring in Europe; Indicators and thresholds for soil quality assessments*. EEA ETC/ULS Report.

- Demo, M. et al. (1998). *Usporiadanie a využívanie pôdy v poľnohospodárskej krajine*. Nitra: SPU, 1998, 302 s. ISBN 80-7137-525-X.
- Grišina, L.A., Baranova, T.A. (1990). Vplyv kyslých zrážok na vlastnosti pôd lesného ekosystému južnej tajgy. *Lesné pôdoznanectvo*, 10, 1990, 121–136.
- Hiradate, S. (2004). Speciation of Aluminium in Soil Environments. *Soil. Sci. Plant Nutr.*, vol. 50(3): 303–314.
- Hraško, J. (1962). *Rozbory pôd*. Bratislava. Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 342 p.
- Kanianska, R., Jaďudová, J., Makovníková, J., Kizeková, M., Tomaškin, J. (2016). *Ekosystémové služby*. Belianum. Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2016, 244 s., ISBN 978-80-557-1129-4.
- Kobza, J., Barančíková, G., Čepková, V., Došeková, A., Fulajtár, E., Houšková, B., Makovníková, J., Matúšková, L., Medved, M., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk J., Vojtáš, J. (2002). *Monitoring pôd SR. Výsledky ČMS – Pôda za obdobie 1997–2001 (2. cyklus)*, VÚPOP, Bratislava, 2002. s. 180, ISBN 80-89128-04-1.
- Kobza, J., Gáborík, Š. (2008). *Súčasný stav a vývoj obsahu makro – a mikroelementov v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. VÚPOP Bratislava, 58 s., ISBN 978-80-89128-47-1.
- Kobza, J., Barančíková, G., Čumová, L., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Náčiniaková-Bezáková, Z., Pálka, B., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk, J., Širáň, M., Tóthová, G. (2009). *Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu*. VÚPOP Bratislava, 2009, 200s., ISBN 978-80-89128-54-9.
- Kobza, J., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Barančíková, G., Bezák, P., Bezáková, Z., Dodok, R., Grečo, V., Chlpík, J., Lišjak, M., Mališ, J., Píš, V., Schlosserová, J., Slavík, O., Styk, J., Širáň, M. (2011). *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. VÚPOP, Bratislava, 136 s.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Hrivňáková, K., Makovníková, K., Pálka, B., Pavlenda, P., Schlosserová, J., Styk, J., Širáň, M. (2014). *Monitoring pôd SR. Aktuálny stav a vývoj monitorovaných pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu. Výsledky ČMS-P za obdobie rokov 2007–2012 (4. cyklus)*. VÚPOP Bratislava, 252 s., ISBN 978-80-8163-004-0.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2019). *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalším využitviam (2013–2017)*. Monografia. NPPC – VÚPOP Bratislava, 252 s., ISBN 978-80-8163-033-0.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2024). *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu (2018–2022)*. NPPC-VÚPOP Bratislava, 253 s., ISBN 978-80-8163-050-7.
- Kozák, J., Borůvka, L. (1998). Species of Al ions as related to some characteristics of both agricultural and forest soils of the Šumava region. *Rostlinná výroba*, vol. 44: 419–426.
- Linkeš, V., Kobza, J., Švec, M., Ilka, P., Pavlenda, P., Barančíková, G., Matúšková, L. (1997). *Monitoring pôd Slovenskej republiky. Súčasný stav monitorovacích vlastností pôd 1992–1996*. Bratislava: VÚPÚ, 1997, 128 s.

- Mačuha, P. (1999). Reakcia domácich odrôd pšenice ozimnej na toxické pôsobenie Al^{3+} kationov pri nízkom pH. *Poľnohospodárska výroba a skúšobníctvo*, 7 (VII), č. 3–4, 1999, s. 25–27.
- Makovníková, J., Kanianska, R. (1996). Zmeny pôdnej reakcie a obsahu aktívneho hliníka vyvolané simuláciou kyslých zrážok. *Rostlinná výroba*, 42(4): 155–159.
- Makovníková, J. (2000). Distribúcia kadmia, olova, medi a zinku v pôde a jej hodnotenie so zreteľom na potenciály a bariéry transportu kovov do rastlín. *PEDO – DISSERTATIONS*, VÚPOP, Bratislava, 125 p.
- Makovníková, J. (2005). Vplyv pôdnych parametrov na distribúciu hliníka v pôdach SR. *Agriculture*, vol. 51: 436–441.
- Makovníková, J., Barančíková, Dlapa, P.G., Dercová, K. (2006). Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme. Review. *Chemické listy*, vol. 100: 424–432.
- Makovníková, J., Pálka, B., Širáň, M., Kanianska, R., Kizeková, M., Jádudová, J. (2017). *Modelovanie a hodnotenie agroekosystémových služieb*. Belianum. Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2017, 150 s., ISBN 978-80-557-1242-0.
- Malíšek, A. (1992). Optimálna dĺžka svahu v závislosti na vodnej erózii. Optimum slope length in dependence on water erosion. *Vedecké práce Výskumného ústavu pôdnej úrodnosti* 17, Bratislava, s. 201–220, ISBN 80-85361-04-3.
- MP SR (2004). *Zákon 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy*.
- MPRV SR (2013). *Novelizovaná vyhláška č. 59 z 11. marca 2013 zákona č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy*.
- Meriño-Gergichevich, J. Alberdi, M., Ivanov, A.G., Reyes-Diaz M. (2010). Al^{3+} – Ca^{2+} interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendment. *Soil. Sci. Plant Nutr.*, vol. 10(3): 217–243.
- Naidu, R. (1996). *Proceedings of the First Australia – Pacific Conference on Contaminants and Soil Environment in the Australia-Pacific Region*, held in Adelaide, Australia, 18–23 February (1996). (Naidu, R., Kookana, R.S., Oliver, D.P., Rogers, S., McLaughl, M.J. (eds.) Kluwer Academic Publishers, London, 323p.
- Považan, R., Blaško, R., Lipták, B., Filčák, R., Kobza, J., Lieskovská, Z., Jurík, L., Makovníková, J. (2023). Globálne megatrendy v životnom prostredí. Aktualizácia environmentálnych globálnych megatrendov a ich implikácie pre Slovensko. Vyd. SAŽP Banská Bystrica, 130 s. ISBN 978-80-8213-120-1.
- Sotáková, S. (1988). *Návody na cvičenie z geológie a pôdoznamectva*. Bratislava: Príroda.
- Valla, M., Kozák, J., Drbal, J. (1983). *Cvičení z půdoznalství II*. Praha: SPN.
- Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selvaradiou, S-K. (2004). *Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/5, 872 pp, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

ČLOVEK A PÔDA V ANTROPOCÉNE: ČO VYŽADOVAŤ OD PEDOLÓGIE V NAJBLIŽŠEJ BUDÚCNOSTI?

Man, and soil in the Anthropocene: what to demand from soil science in the near future?

Pavel Pavlenda

*Národné lesnícke centrum, Odbor ekológie lesa, T.G. Masaryka 22, Zvolen,
e-mail: pavel.pavlenda@nlcsk.org*

Abstrakt

Príspevok je venovaný viacerým otázkam pedológie v kontexte súčasných globálnych environmentálnych výziev – v dobe antropocénu. Stručne sú komentované aktuálne trendy vo výskume a monitoringu pôd v Európe, slabšie stránky súčasného pôdoznaleckého výskumu na Slovensku, ale aj návrhy, výzvy a inšpirácie do budúcnosti. Zdôraznená je potreba efektívnejšej spolupráce medzi pracoviskami a typmi výskumu, lepšieho integrovania pôdoznaleckého výskumu do ekologického a environmentálneho výskumu, ale aj lepšej komunikácie a prezentovania výsledkov mimo samotnej komunity pôdoznalcov.

Kľúčové slová: pedológia, antropocén, využívanie pôd, monitoring, environment, socioekonomické podmienky

Abstract

The paper deals with several issues of soil science in the context of current global environmental challenges – in the era of the Anthropocene. Current trends in soil research and monitoring in Europe, weaknesses of current soil research in Slovakia, as well as suggestions, challenges and inspirations for the future are briefly commented on. The need for more effective cooperation between research institutes, types of research, better integration of soil research into ecological and environmental research, as well as better communication and presentation of results outside the soil science community itself is emphasized.

Keywords: soil science, Anthropocene, land use, monitoring, environment, socio-economic conditions

ÚVOD

Základy pedológie ako vedy sa formovali, podobne ako to bolo pri mnohých

iných vedných disciplínach, v druhej polovici 19. storočia. Hoci čiastkové poznatky súvisiace s pôdou sa získavali a využívali podstatne skôr (základné poznatky o možnostiach využívania pôdy a jej zúrodnenia boli už súčasťou fungovania a podmienkou existencie starovekých civilizácií), za prvý podstatný krok ku vzniku pedológie možno označiť jej odčlenenie od geológie a systematickejší prístup ku skúmaniu pôd, čo bolo dielom Friedricha Falloua. O moderné komplexné genetické chápanie pôd sa zaslúžil V.V. Dokučajev, keď vo svojich prácach definoval základné faktory pôdotvorenia a rozpracovaním poznatkov o klimatických faktoroch pôdnej tvorby položil základy pedogeografie. K základom pedológie ako vednej disciplíny v tom období prispeli ďalší, najmä ruskí a nemeckí pôdoznalcovia.

Za dôležité považujem hneď v úvode spojiť históriu i budúcnosť pedológie s ekológiou. Ekológia je veda o vzťahoch organizmov s prostredím a vzťahom medzi organizmami navzájom. Inak povedané, je to veda o vzťahoch organizmov s okolitým svetom, to znamená v širšom význame veda o podmienkach života. Pojem ekológie zaviedol nemecký biológ Ernst Häckel v roku 1866.

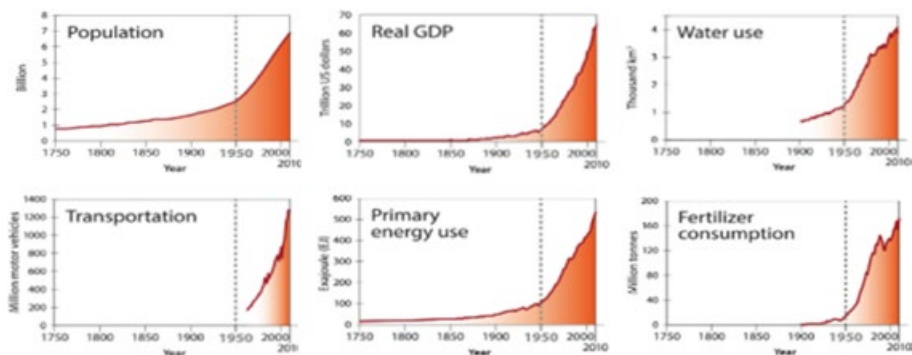
Ekológia študuje ekologické systémy, ich štruktúru, organizáciu a zmeny v nich prebiehajúce. Prístup ekológie k štúdiu životného prostredia je vo svojej podstate interdisciplinárny, poznanie základných ekologických princípov a zákonitostí je nutné pre zachovanie prírodnej rovnováhy a je nutné pre dlhodobú existenciu zdravej a produkčnej krajiny.

Žijeme v antropocéne?

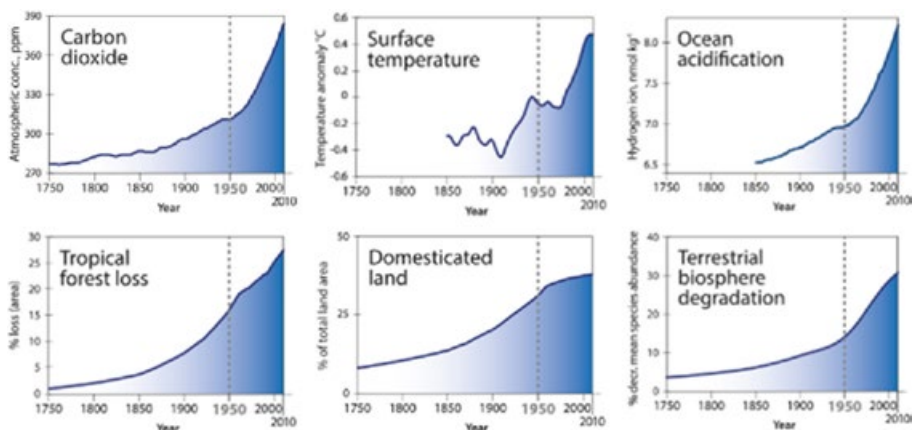
Pojem antropocén v 80. rokoch minulého storočia použil ekológ Eugene F. Stoermer, výrazne ho však spopularizoval až v roku 2000 atmosférický chemik Paul J. Crutzen (Crutzen & Stoermer 2000), ktorý považuje vplyv ľudstva na zemskú atmosféru v posledných storočiach za taký významný, že predstavuje novú geologickú epochu (Crutzen 2006). Tlak, ktorý vyvíjame na planétu, sa stal tak veľkým, že vedci zvažujú, či Zem vstúpila do úplne novej geologickej epochy: antropocénu. Hoci príslušná únia geologických vied zatiaľ neodsúhlasila zaradenie antropocénu do chronostratigrafickej tabuľky (po pleistocéne a holocéne), pojem antropocén sa čoraz častejšie používa v odbornej literatúre pre označenie obdobia charakterizovaného globálnou intenzívnou ľudskou činnosťou, rozvojom technológií a zásadnými vplyvmi na svet. Zvyčajne sa za počiatok antropocénu považuje polovica 18. storočia, teda obdobie začiatku priemyselnej revolúcie. Niektorí autori za skutočný začiatok antropocénu považujú až päťdesiate roky 20. storočia. Obdobie od polovice 20. storočia sa často označuje aj za obdobie tzv. veľkého zrýchlenia (*great acceleration*).

Názorné príklady vývoja pre indikátory v oblasti sociálno-ekonomického rozvo-

ja ľudskej civilizácie sú na Obr. 1, príklady trendov vývoja planetárneho systému (fyzikálne, chemické, biologické parametre stavu planéty) sú na Obr. 2.



Obrázok 1. Vybraté socio-ekonomické trendy (Zdroj: Moldan 2015, ex Ambio 2011)



Obrázok 2 Vybraté trendy planetárneho systému (Zdroj: Moldan 2015, ex Ambio 2011)

Hlavným zdôvodnením teórie antropocénu je fakt, že človek sa stal dominantnou geologickou silou na Zemi, väčšou než príroda sama. Znamená to, že sme prví ľudia žijúci vo veku, v ktorom dominantným rizikom pre naše prežitie sme my sami.

Prečo antropocén v súvislosti s pôdou? Aj z vyššie uvedených príkladov vidieť, že zmeny vo vzťahu k pôde majú skorší začiatok a v čase „veľkého zrýchlenia“ už bola značná časť povrchu Zeme, a teda pôd, pozmenená v prospech poľnohospodárskeho využívania. Je však zrejmé, že niektoré aspekty vplyvov človeka na pôdu sa časovo kryjú s „veľkým zrýchlením“, napr. rozsah používania umelých hnojív, či

používanie pesticídov. Kultivácia pôd vo veľkom rozsahu má omnoho dlhšiu históriu ako iné globálne aktivity človeka, ktoré menia prírodné prostredie. Obmedzená však bola na relatívne menšie oblasti a nebola dotknutá globálnou ekonomikou. Počas antropocénu sa však významne mení aj vzťah k pôde. Kým ešte pred sto rokmi aj v Európe bol život väčšiny ľudí priamo spojený s využívaním (obrábaním) pôdy, v súčasnosti sa tento vzťah stratil. Menia sa aj formy ovplyvňovania pôd, a to nielen zámerné – cielené, ako je hnojenie či používanie pesticídov, t.j. aktívne, ale aj nezamýšľané zásahy, ako je napr. zmena drevinového zloženia lesov alebo aj ovplyvňovanie mimo sektora využívania pôdy napr. emisiami z priemyslu či dopravy a následne vlastnosťami atmosférickej depozície.

Či teda chceme alebo nie, aj na súčasnosť a budúcnosť pedológie je potrebné dívať sa v kontexte zrýchleného civilizačného vývoja a s ním spojených rizík, alebo inak povedané, v kontexte globálnych mega trendov v životnom prostredí. Tejto problematike sa venovali na národnej úrovni napr. Považan & Blaško (2023). Podrobne je problematika „podmanenej planéty“ a otázok životného prostredia – ktorých existenciu nemôže ignorovať ani pedológia spracovaná vo viacerých publikáciách Moldana (2015, 2020).

Budúcnosť pedológie

Keby sme veľmi stručne mali zhrnúť doterajšiu históriu pedológie, išlo doteraz o viac-menej prepojené poznávanie pôdy ako prírodného fenoménu a poznávanie pôdy v záujme utilitárnych záujmov človeka, teda najmä využívania pôdy a zvyšovania produkcie – najmä potravín. Od systematického zbierania, triedenia a skladania poznatkov, cez mapovanie pôd a tvorbu databáz o pôdnych vlastnostiach sme sa dostali do fázy, keď nosnou témou je monitorovanie degradácie pôd a hľadanie riešení pre spomalenie degradácie, či dokonca hľadanie možností pôd pre riešenie globálnych environmentálnych problémov. Sú to najmä aspekty sekvestrácie uhlíka v kontexte zmeny klímy. Poznatkov o pôdach pribúda, existujú rôzne monitorovacie systémy, hoci napr. v celoeurópskom rámci doteraz nie celkom plnia očakávania. V prípade monitoringu lesných pôd v Európe bol síce spracovaný prehľad stavu ich vlastností (De Vos & Cools 2011), podrobné vyhodnotenie vývoja sa zatiaľ nepodarilo realizovať a publikovať. Na národnej úrovni je skôr výnimkou spracovanie a porovnanie dvoch cyklov inventarizácie lesných pôd v Nemecku (Wellbrock & Bolte 2019) ako súčasť podrobných a precíznych aktivít spojených s monitoringom lesov.

Výstupy systému LUCAS (Fernandez-Ugalde *et al.* 2020) zatiaľ tiež zaostávajú za očakávaním, napriek tomu je v súčasnosti živou témou EU príprava „Soil Monitoring Law“. Metodickým problémom pri monitorovaní pôd sa už zo samotnej

podstaty priestorovej variability vlastností pôd nemožno úplne vyhnúť, je však potrebné rešpektovať základné pravidlá a poznatky (Vanguelova *et al.* 2016).

Význam pôdy pre spoločnosť si v posledných rokoch získava čoraz väčšie uznanie s potenciálom prispieť k veľkej časti cieľov dlhodobu udržateľného rozvoja (Sustainable Development Goals – SDG), ktoré boli prijaté na summite OSN v roku 2015. Dokladom tohto významu v rámci EÚ je aj zaradenie problematiky pôdy medzi 5 priorít výskumu v rámci Horizon Europe vo forme „misií“ (Soil Deal for Europe: 100 living labs and lighthouses to lead the transition towards healthy soils by 2030).

V odbornej literatúre sa dá nájsť viacero prác, ktoré naznačujú očakávania či možnosti a priority pedológie v najbližšej budúcnosti (napr. Hartemink 2006, Cimpoiasu *et al.* 2021). V týchto prácach sa často opakuje potreba reflexie všetkých funkcií pôd, prepojenia na využívanie pôdy, ako aj širší socio-ekonomický kontext. Hoci pozícia pedosféry na prieniku litosféry, atmosféry, hydrosféry a biosféry predurčuje mimoriadny význam pôdy a teda aj pedológie, niektoré formulácie sa môžu javiť ako trochu neskromné, napr. titul „Udržateľná budúcnosť v nasledujúcom desaťročí má korene v pedológii“ (Evans 2022). V najnovšej literatúre sa dajú nájsť aj zámery využitia umelej inteligencie v pedológii (Castro *et al.* 2024).

Aká je aká by mala byť pedológia na Slovensku

Pred pohľadom do budúcnosti je užitočné poohliadnuť sa o 25 rokov naspäť, na „Pedofórum 2000“. Táto akcia a zborník z nej (Bielek *et al.* 2000) mala tiež bilančný zámer spolu so zámerom naznačiť budúce trendy pedológie na Slovensku. Autori príspevkov sa venovali širokej problematike tém. Za zmienku stojí, že už vtedy sa popri prehľade funkcií pôd objavili aj dôležité a výstižné zmienky o pôdach v kontexte zmeny klímy. Zaujímavé je tiež, že sa tu objavila formulácia, že „ochrana a využívanie pôdy sa citelne odlišuje medzi poľnohospodárskymi a lesnými pôdami...“ Niet inej budúcnosti ako približovanie sa a zblíženie týchto prístupov...“ Z pohľadu pedológov pracujúcich v sektore lesníckeho výskumu považujem za dobré, že v príspevku zameranom na lesné pôdy a ich riziká sa prof. Bublinec venoval najskôr vplyvu lesného hospodárstva na pôdy (zmeny drevinovej skladby, spôsob manažmentu a odberu dendromasy) a až na druhom mieste imisiám a kyslým zrážkam.

O Pedofóre 2000 sa tu zmieňujem aj z toho dôvodu, že v súčasnosti sa javí až neuveriteľné, že príhovory na túto udalosť – a do zborníka – pripravili minister pôdohospodárstva SR, minister životného prostredia a predseda Výboru pre životné prostredie a ochranu prírody NR SR...

Aká teda je a aká by mala byť pedológia na Slovensku?

Začnime tým, že pedologický výskum je v súčasnosti na Slovensku príliš fragmentovaný. V prvom rade fragmentovaný v zmysle podmienok výskumu. Realitou sú malé projekty; celé dekády prakticky neexistuje možnosť väčších výskumných projektov s podporou z národných zdrojov, kde by sa riešili širšie ciele s využitím expertov z rezortných pracovísk, SAV a univerzít.

Fragmentovaný je aj v zmysle „subrezortného“ prístupu, t.j. oddeľovania podľa typu využívania pôdy (hoci samozrejme existujú aj dobré príklady spoločných postupov a publikácií). Tak ako využívanie pôdy je stále príliš oddelené, aj pedologický výskum vo všeobecnosti málo integruje informácie a poznatky o pôdach pri rôznom type využívaní, resp. pri zmenách vo využívaní.

Do značnej miery je fragmentovaný aj v zmysle riešených tém. Často sa riešia veľmi parciálne otázky základného výskumu, bez určitého holistického nadhľadu.

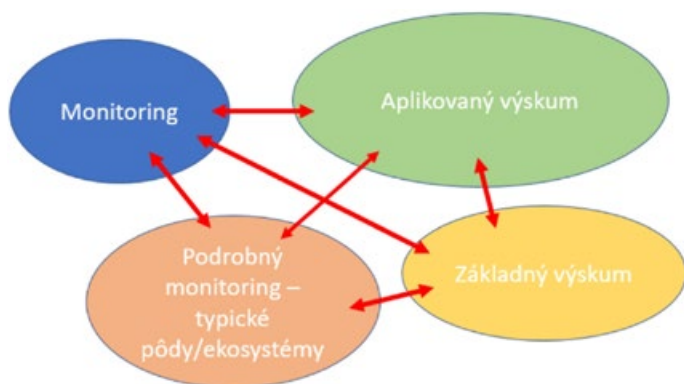
Pedologický výskum na Slovensku je azda aj príliš konzervatívny. Vedecké poznanie sa rozvíja najmä pokiaľ ide o chemické a fyzikálne vlastnosti, len pomaly a postupne sa väčšia pozornosť venuje aj živej zložke pôdy (biologickým vlastnostiam). Napriek tomu, že sa stále viac využívajú nové techniky pre spracovanie dát (štatistické metódy, geoštatistika, DPZ, analýzy a interpretácia výstupov v GIS prostredí), je určite potenciál výrazne lepšieho využitia najnovších technických a programových možností. V posledných rokoch sa čoraz viac rozvíja využívanie modelovania, aj tu sú však určite rezervy oproti možnostiam.

Čo teda očakávať od pedológie na Slovensku? Iste by bolo možné venovať sa tejto téme podrobnejšie, uvediem však aspoň výber (nepochybne predsa len subjektívnych) názorov a očakávaní:

- Napriek zložitým podmienkam vo výskume a vede (všeobecne) je potrebné hľadať spôsoby pre lepšiu spoluprácu medzi inštitúciami, integráciu poznatkov, rozsiahlejšiu spoluprácu v projektoch.
- Viac je potrebné hodnotiť pôdu v kontexte a súvislostiach (vo vzťahu ku klíme, k vegetačnému krytu, k spôsobu manažmentu), vždy vnímať pôdu ako ekosystém, resp. ako súčasť ekosystému.
- Výrazne väčšiu pozornosť je potrebné venovať živej zložke pôdy.
- Mentálne prekročiť obvyklý časový rámec nazerania na pôdu a jej využívanie – nielen pri pohľade do minulosti, ale aj do budúcnosti.
- Čoraz dôležitejšie je, aby poznatky pedológie boli omnoho intenzívnejšie a vhodnými spôsobmi „posúvané“ riadiacej sfére i širokej verejnosti, a to nielen cez tlačené publikácie rôzneho typu, ale aj v médiách i virtuálnom svete sociálnych sietí.

Z hľadiska potrieb spoločnosti a efektívnosti získavania, hodnotenia, analyzova-

nia a prezentovania informácií o pôdach, teda pedológie v širšom zmysle slova, za optimálny stav na národnej úrovni možno považovať vhodnú kombináciu reprezentatívneho monitoringu (s racionálnym časovým intervalom vzorkovania), podrobného monitoringu (s podrobnými údajmi o pôsobiacich faktoroch), tematického (aplikovaného) výskumu s celoslovenskými výstupmi, návrhmi a projekciami s využitím modelov (vrátane procesných modelov) a v primeranom rozsahu základného výskumu. Tento „pedologický ekosystém“ samozrejme nemôže byť izolovaný, ale musí byť racionálne prepojený na environmentálne i socio-ekonomické aspekty na národnej i medzinárodnej úrovni. Nemá fungovať na politickú objednávku, má byť nezávislý a zámermi presahovať do budúcnosti rádovo v desiatkach rokov, musí však byť schopný zrozumiteľne formulovať požiadavky, zámery a najmä poznatky decíznej sféry. Ako už bolo vyššie naznačené, je potrebné výrazne diverzifikovať a primeraným spôsobom zatriktívniť výstupy výskumu.



Obrázok 3 Zložky a väzby medzi „prvkami“ rozvoja pedológie

Špecifickou otázkou je budúcnosť rezortného výskumu. V rôznych krajinách existujú rôzne modely inštitúcií so zameraním, ktorých súčasťou je aj aplikovaná pedológia. Často sú veľmi rozdielne spôsoby riadenia a financovania takýchto inštitúcií. Možné je uviesť niekoľko príkladov, kde prebehla určitá integrácia pracovísk tak, aby informácie a kapacity spojené s výskumom a hodnotením prírodných zdrojov, resp. manažmentu prírodných zdrojov súvisiacich s pôdou, boli výraznejšie prepojené. Príkladom môže byť Thünen Institute – federálny ústav v Nemecku – kde je integrovaný aplikovaný výskum a podpora odborných politík spojených s poľnohospodárstvom, lesníctvom i rybárstvom, pričom majú významný presah na otázky zmeny klímy a biodiverzity (popri existencii niekoľkých lesníckych ústavoch v spolkových krajinách). Iným príkladom je Švajčiarsky federálny inštitút pre lesy sneh a krajinu (Swiss Federal Institute for Forest,

Snow and Landscape Research – WSL). Napriek dlhej tradícii fínskeho lesníckeho výskumného ústavu (METLA), tento sa stal súčasťou LUKE (Natural Resources Institute Finland) so širokým zameraním výskumu v oblasti primárnej produkcie obnoviteľných zdrojov. Taktiež INRA sa zmenila rozšírením o environmentálne aspekty na INRAE – France's National Research Institute for Agriculture, Food and Environment (lesnícky výskum nie je súčasťou, Office National des Forêts je inou inštitúciou). Zároveň však treba zdôrazniť, že integrácia v žiadnom prípade nesmie byť samoučelná a spojená so zámerom „zefektívnenia“ (t.j. zníženia nákladov). Ak o nej v budúcnosti niekto bude uvažovať, musí vychádzať z jasných analýz a cieľom musí byť výrazný priaznivý synergický efekt.

Na záver ešte príklad medzinárodného presahu v oblasti lesníctva a lesníckeho výskumu. Je ním EFI – European Forest Institute, čo je medzinárodná organizácia, vybudovaná európskymi krajinami. Zmluvu o EFI ratifikovalo spolu 30 európskych krajín. Má 125 členských a asociovaných inštitúcií, sídlo EFI je vo Fínsku v Joensuu. Tento príklad tu uvádzam z dvoch dôvodov. Ten prvý je veľmi jasný a vhodný formulovanie cieľov a úloh tejto organizácie. V záujme presnosti ich uvádzam v origináli zo stránky EFI:

- We conduct research and provide policy support on issues related to forests (Vykonávame výskum a poskytujeme politickú podporu v otázkach súvisiacich s lesmi).
- We facilitate and stimulate forest-related networking and promote the dissemination of unbiased and policy-relevant information on forests and forestry. (Uľahčujeme a stimulujeme vytváranie sietí súvisiacich s lesom a podporujeme šírenie nezaujatých a pre politiku relevantných informácií o lesoch a lesnom hospodárstve).
- We also advocate for forest research and for the use of scientifically sound information as a basis for forest policies. (Tiež obhajujeme lesnícky výskum a využívanie vedecky podložených informácií ako základu pre lesné politiky).

Tým druhým dôvodom sú vhodne nastavené typy výstupov, ktoré môžu byť užitočnou inšpiráciou. Nejde o vedecké výstupy, ale výstupy pre decíznu sféru a odbornú, ale aj laickú verejnosť: od niekoľkostranových brožúrok („*Policy Briefs*“), cez o niečo rozsiahlejšie zhrnutia a výsledky poznatkov („*From Science to Policy*“) až po odborné publikácie pre rôzne témy lesníctva a lesníckeho výskumu („*What Science Can Tell Us*“).

ZÁVER

Spoločenské zmeny a s nimi súvisiace vplyvy človeka na planétu Zem prebiehajú čoraz rýchlejšie a intenzívnejšie. Ani pedológia ako vedný odbor to nemôže

ignorovať. Od pedológie samozrejme nemožno mať neprimerané očakávania, nepochybne je však potrebné pristúpiť k úlohám pedológie s istým nadhľadom, s využívaním najmodernejších prístupov a techník, ale zároveň so zodpovednosťou k realite. Aj na skromnej národnej úrovni je široký priestor na reformuláciu cieľov, zlepšovanie spolupráce, skvalitňovanie vedeckých výstupov, ale najmä na zlepšovanie komunikácie a sprostredkovanie výsledkov výskumu v oblasti pedológie príslušnej decíznej sfére, širšej odbornej verejnosti ale aj (či v dnešnej postfaktuálnej dobe najmä...) širokej verejnosti.

LITERATÚRA

- Bielek, P. (ed.) (2000). *Pedofórum 2000*. Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, 104 s.
- Brown, D.G., Robinson, D.T., French, N.H.F., Reed, B. C. (2013). *Land Use and the Carbon Cycle. Advances in Integrated Science, Management and Policy*. Cambridge University Press, 654 pp.
- Castro, J.P., Gasch, C.K., Flores, P. (2024). Artificial intelligence in soil science: Where do we go now? *Agric Environ Lett.*, 2024. vol. 9: e20134.
- Cimpoiasu, M.O., Dowdeswell-Downey, E., Evans, D.L., McCloskey, C.S., Rose, L.S., Sayer, E., (2021). Contributions and future priorities for soil science: Comparing perspectives from scientists and stakeholders. *Eur. J. Soil Sci.*, vol. 72: 2538–2557.
- Crutzen, P.J., Stoermer, E.F. (2000). The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter*, vol. 41: 17–18.
- Crutzen, P.J. (2006). The "Anthropocene". In: Ehlers, E., Krafft, T. (eds): *Earth System Science in the Anthropocene*. Springer, Berlin,
- De Vos, B., Cools, N. (2011). *Second European Forest Soil Condition Report. Volume I: Results of the BioSoil Soil Survey*. INBO.R.2011.35. Research Institute for Nature and Forest, Brussel, 368 pp.
- Ernst-Haeckel, <https://www.britannica.com/biography/Ernst-Haeckel>
- Evans, D.L., Janes-Bassett, V., Borrelli, P., Chenu, C., Ferreira, C.S.S., Griffiths, R., Kallantari, Z., Keesstra, S., Lal, R., Panagos, P., Robinson, D.A., Seifollahi-Aghmiuni, S., Smith, P., Steenhuis, T.S., Thomas, A., Visser, S.M. (2022). Sustainable futures over the next decade are rooted in soil science. *Eur. J. Soil Sci.* 2022, vol 73: e13145.
- Fernández-Ugalde, O., Ballabio, C., Lugato, E., Scarpa, S., Jones, A. (2020). *Assessment of changes in topsoil properties in LUCAS samples between 2009/2012 and 2015 surveys*. EUR 30147 EN. Publications Office of the European Union: Luxembourg 2020, ISBN 978–92-76–17430-1, doi:10.2760/5503, JRC120138. Publications Office of the European Union: Luxembourg 2020, ISBN 978-92-76-17430-1, doi:10.2760/5503, JRC120138.
- Fisher, R.F., Binkley, D. (2000). *Ecology and Management of Forest Soils*. Third Edition. John Wiley & Sons inc. 490 pp.
- Friedrich Albert Fallou, https://en.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Albert_Fallou
- Hartemink, A.E. (ed.) (2006). *The Future of Soil Science*. IUSS, ISRIC, Wageningen, 176 pp.

- Hartemink, A.E., McSweeney, K. (2014). *Soil Carbon*. Springer International Publishing Switzerland, 506 pp.
- Moldan, B. (2015). *Podmaněná planeta*. Univerzita Karlova, Nakladatelství Karolinum, Praha, 512 s.
- Moldan, B. (2020). *Životní prostředí v globální perspektivě*. Univerzita Karlova, Nakladatelství Karolinum, Praha. 228 s.
- Považan, R., Blaško, R. (eds.) (2023). *Globálne megatrendy v životnom prostredí*. Aktualizácia environmentálnych globálnych megatrendov a ich implikácie pre Slovensko. Slovenská agentúra životného prostredia, Banská Bystrica. 132 s.
- Steffen, W. *et al.* (2005). Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet. *Science* 347 (6223): 736 – 746.
- Vanguelova, E.I., Bonifacio E., De Vos, B., Hoosbeek, M.R., Berger, T.W., Vesterdal, L., Armolaitis, K., Celi, L., Dinca, L., Kjønaas, O.J., Pavlenda, P., Pumpanen, J., Püttsepp, Ü., Reidy, B., Simončič, P., Tobin, B., Zhiyanski, M. (2016) Sources of errors and uncertainties in the assessment of forest soil carbon stocks at different scales—review and recommendations. *Environ. Monit. Assess.*, p. 188:630
- V.V. Dokuchayev (<https://www.britannica.com/biography/Vasily-Vasilyevich-Dokuchayev>).
- Wellbrock, N., Bolte, A., (eds.) (2019). *Status and Dynamics of Forests in Germany. Results of the National Forest Monitoring*. Ecological Studies 237. Springer, 384 pp.

VLIV EROZNÍCH PROCESŮ NA PŮDNÍ VLASTNOSTI ČERNOZEMÍ A KAMBIZEMÍ V ZÁVISLOSTI NA TYPU SVAHU

Effects of Erosion Processes on Soil Properties of Chernozems and Cambisols in Relation to Slope Type

Bořivoj Šarapatka, Marek Bednář

*Katedra ekologie a životního prostředí Univerzity Palackého, Šlechtitelů 27, 783 71
Olomouc*

Korespondující autor:

prof. Dr. Ing. Bořivoj Šarapatka, CSc. e-mail: borivoj.sarapatka@upol.cz

Abstrakt

Vodní eroze významně ovlivňuje půdní vlastnosti, avšak srovnávací studie mezi různými půdními typy jsou omezené. Náš výzkum zkoumal rozdílný vliv erozních procesů na fyzikální, chemické a biochemické vlastnosti černoze a kambize na jižní Moravě a na Českomoravské vrchovině, a to s důrazem na roli konkávních a konvexních tvarů svahů. Kombinovali jsme terénní odběry, laboratorní analýzy a geoprostorové modelování pro identifikaci erozních, transportních a depozičních zón na svazích. Černoze byly zejména na konkávně-konvexních svazích a vykazovaly výraznější rozdíly mezi erozními a depozičními zónami. Kambize mě převažovaly hlavně na konvexně-konkávních svazích a vykazovaly odlišné erozní a depoziční vzorce s méně výraznými rozdíly mezi jednotlivými zónami. Naše zjištění zdůrazňují význam půdního typu a topografie, zejména konkávnosti a konvexnosti svahů v erozních studiích a mají významné implikace pro cílený management půdy a strategie protierozní ochrany v různých zemědělských krajinách.

Klíčová slova: vodní eroze, černoze, kambize, půdní vlastnosti, typ svahu

Abstract

Water erosion significantly affects soil properties but comparative studies between different soil types are limited. Our research examined the different impact of erosion processes on physical, chemical, and biochemical properties of Chernozems and Cambisols in South Moravia and the Bohemian-Moravian Highlands with emphasis on the role of concave and convex slope shapes. We combined field

sampling, laboratory analyses, and geospatial modelling to identify erosion, transport, and deposition zones on slopes. Chernozems were mainly found on concave-convex slopes and showed more pronounced differences between erosion and deposition zones. Cambisols predominated mainly on convex-concave slopes and exhibited different erosion and deposition patterns with less pronounced differences between individual zones. Our findings emphasize the importance of soil type and topography, especially the concavity and convexity of slopes in erosion studies and have significant implications for targeted soil management and erosion control strategies in various agricultural landscapes.

Keywords: water erosion, Chernozems, Cambisols, soil properties, type of slope

ÚVOD

Vodní eroze představuje jednu z nejvýznamnějších hrozeb pro zemědělské půdy v celosvětovém měřítku. Podle Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) je v důsledku této eroze každoročně transportováno přibližně 75 miliard tun z orné půdy, což významně ohrožuje produkční schopnosti zemědělských půd, ovlivňuje ekosystémy i potravinovou bezpečnost. V Evropské unii dosahuje průměrná ztráta půdy 2,46 t/ha ročně, což odpovídá celkové roční ztrátě 970 milionů tun (Panagos *et al.* 2015). V České republice je situace rovněž značně znepokojivá, neboť vodní erozi je ohrožena zhruba polovina ploch zemědělských půd, přičemž v důsledku klimatické změny a častějšího výskytu přívalových srážek lze do budoucna očekávat další zhoršení tohoto stavu.

Významnou roli v dynamice erozních procesů hrají faktory klimatické, půdní, geomorfologické a hospodářské, významný je i tvar svahů (konvexní a konkávní svahy). Komplexní topografie zemědělské krajiny často vytváří kombinace konkávních a konvexních tvarů svahů, které dále komplikují hodnocení erozních procesů a jejich dopadů na půdní vlastnosti. V české zemědělské krajině můžeme pozorovat, že v oblastech, kde jsme prováděli výzkum erozních procesů, se černoze vyskytovaly více v oblastech s konkávně-konvexními svahy, zatímco kambizemě v oblastech s konvexně-konkávními svahy, což může dále ovlivňovat rozdílnou dynamiku eroze u těchto půdních typů.

Dosavadní výzkumy v oblasti vlivu eroze na půdní vlastnosti se zaměřovaly zejména na kvantifikaci ztráty půdy a změny v obsahu organické hmoty a živin mezi erozními a depozičními zónami svahů u černoze (např. Du *et al.* 2022, Labaz *et al.* 2022, Pozniak 2019, Šarapatka *et al.* 2018, Zádorová *et al.* 2013). Méně pozornosti bylo věnováno kambizemím, přestože tyto půdy tvoří značnou část zemědělské půdy v mírném klimatickém pásmu. Zejména nedostatečně prozkoumána zůstává otázka, jak se liší reakce různých půdních typů na erozní procesy v závis-

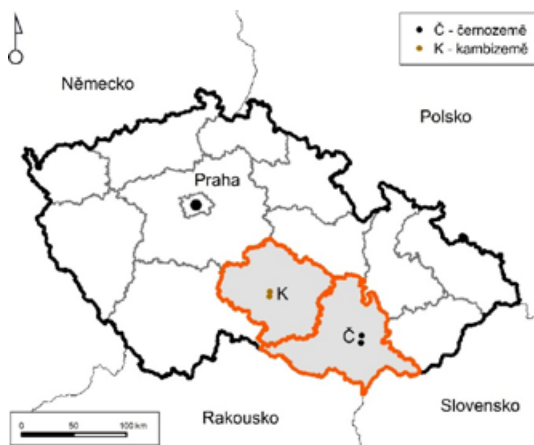
losti na specifickém tvaru svahu. Chybí komplexní srovnávací studie, které by systematicky hodnotily změny fyzikálních, chemických a biochemických vlastností černozemí a kambizemí v různých částech svahů s ohledem na jejich konkávnost či konvexnost.

Cílem této studie proto bylo prozkoumat rozdílné vlivy erozních procesů na vybrané půdní vlastnosti černozemí a kambizemí, jako rozšířených půdních typů v nížinných a v podhorských i horských oblastech, a to ve dvou půdně i krajinně kontrastních regionech jižní Moravy a Českomoravské vrchoviny, s důrazem na roli konkávních a konvexních tvarů svahů. Při výzkumu jsme se zaměřili na: (1) identifikaci erozních, transportních a depozičních zón na svazích s využitím geoprostorového modelování; (2) analýzu změn fyzikálních vlastností půdy, na hodnocení vlivu eroze na obsah a kvalitu organické hmoty v půdě; stanovení změn v obsahu dostupných živin a dalších chemických vlastností půdy; a na posouzení vybraných půdně biochemických vlastností jako indikátorů biologické aktivity půdy. Získané poznatky by měly přispět k lepšímu pochopení erozních procesů na různých půdních typech a poskytnout vědecký základ pro cílený management půdy a protierozní ochranu v rozdílných zemědělských oblastech.

MATERIÁL A METODY

Charakteristika studijních lokalit a topografických prvků

Výzkum byl realizován ve dvou regionech České republiky s odlišnými dominantními půdními typy a charakteristickou topografií. Oblast jižní Moravy (Bo-



Obrázek 1 Studované území na jižní Moravě a Českomoravské vrchovině

šovice a Hrušky) reprezentuje region s dominancí černozemí, typicky se vyskytující na konkávně-konvexních svazích. Oblast Českomoravské vrchoviny (Horní Kosov a Rančířov-Čížov) reprezentuje region s převahou kambizemí, které se nacházejí převážně na konvexně-konkávních svazích (Obr. 1). V našem výzkumu se konkrétně jednalo o lokality s černozeměmi modálními na spraši a s kambizeměmi modálními na zvětralínách pararul.

Topografická odlišnost jednotlivých území představuje klíčový faktor pro naši studii, kdy na konkávně-konvexních svazích s černozeměmi byl mírnější sklon v horní části svahů, který se postupně zvyšoval směrem po svahu dolů, což způsobovalo akceleraci odtoku a zvýšení erozního potenciálu. Naopak konvexně-konkávní svahy kambizeměmi měly strmější horní část, která postupně přecházela do mírnějšího sklonu, což způsobuje zpomalování odtoku a podporuje postupné ukládání transportovaného materiálu.

Identifikace erozních zón v závislosti na tvaru svahu

Pro hodnocení eroze na jednotlivých blocích orný půd byl využit model USLE, pro identifikaci erozních, transportních a depozičních zón na studovaných svazích byl použit model USPED (*Unit Stream Power-based Erosion Deposition*) implementovaný v prostředí GIS, který umožňuje predikovat prostorovou distribuci erozních a depozičních procesů na základě topografických charakteristik (Warren *et al.* 2005). Vstupními daty byl digitální model terénu s vysokým rozlišením (1 m), údaje o půdních vlastnostech, o využití území a o klimatických podmínkách. Svahy pak byly klasifikovány do tří zón a to do:

- erozní zóny s převahou odnášení půdního materiálu,
- transportní zóny s vyrovnaným poměrem odnášení a ukládání materiálu,
- depoziční zóny s převahou ukládání půdního materiálu.

Pro černozemě byl model doplněn o vizuální interpretaci leteckých snímků vzhledem k výraznějším vizuálním projevům eroze na těchto půdách. Tento kombinovaný přístup umožnil přesnější identifikaci erozních a depozičních zón v závislosti na konkávním či konvexním tvaru svahu.

Odběr vzorků na svazích s různou topografií

V každé identifikované zóně (erozní, transportní, depoziční) bylo na jednotlivých svazích odebráno 5 směsných vzorků z hloubky 0–20 cm (ornice) a 20–40 cm (podorniči), celkem tedy 30 vzorků na každém svahu, včetně neporušených vzorků pro stanovení některých fyzikálních charakteristik. Strategie odběru byla navržena tak, aby zachytila variabilitu půdních vlastností napříč různými pozicemi na svazích s odlišnou topografií. Na konkávně-konvexních svazích (černozemě) byly vzorky odebrány v gradientu od vrcholu svahu (erozní zóna) přes

přechodovou zónu až po depoziční zónu v dolní části. Na konvexně-konkávních svazích (kambizemě) byly vzorky odebrány podobným způsobem, ale s ohledem na odlišný profil svahu.

Analýza půdních vlastností ve vztahu k tvaru svahu

Analýza půdních vzorků byla zaměřena na vlastnosti, které nejlépe odrážejí vliv topografie na erozní procesy. Jednalo se o:

- fyzikální vlastnosti – zrnitostní složení, stabilita půdních agregátů a objemová hmotnost,
- chemické vlastnosti – obsah organického uhlíku, kvalita humusu (poměr huminových kyselin k fulvokyselinám), stupeň humifikace, obsah glomalinu, půdní reakce, obsah karbonátů a dostupných živin,
- biochemické vlastnosti – aktivita vybraných půdních enzymů (dehydrogenáza, alkalická fosfatáza, ureáza, celulóza).

Použité metody analýz jsou uvedeny v publikaci Šarapatka *et al.* (2024).

Statistické zpracování dat s důrazem na vliv topografie

Modely byly systematicky porovnávány pomocí několika kritérií včetně AIC, BIC a Bayesova faktoru, což umožnilo robustnější hodnocení vhodnosti jednotlivých modelů. Výsledky byly vizualizovány pomocí grafů porovnávajících půdní vlastnosti mezi erozními a depozičními zónami pro oba půdní typy, s důrazem na rozdíly způsobené odlišnou topografií svahů.

VÝSLEDKY A DISKUZE

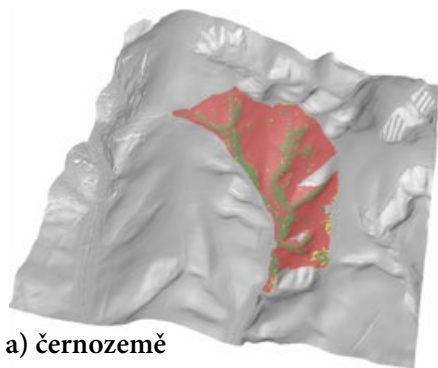
Srovnávací analýza erozních procesů na konkávních a konvexních svazích

Analýza pomocí modelu USLE odhalila výrazné rozdíly v potenciální vodní erozi mezi dvěma studovanými půdními typy. Oblast s černozeměmi vykazovala podstatně vyšší průměrnou míru eroze ($33,0 \pm 14,1$ t/ha/rok) ve srovnání s oblastí s kambizeměmi ($14,0 \pm 5,6$ t/ha/rok). Tento významný rozdíl lze přičíst především odlišné erodibilitě půdy vyjádřené K faktorem, který byl u kambizemí přibližně poloviční oproti černozemím.

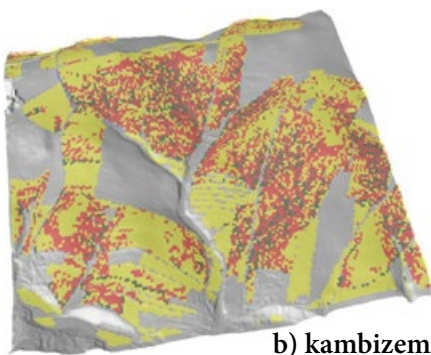
Model USPED poskytl detailnější pohled na dynamiku eroze, klasifikací krajiny do erozních, transportních a depozičních zón. Výsledky odhalily výrazné rozdíly mezi kambizeměmi a černozeměmi související s rozdílnou topografií svahů (Obr. 2). U černozemí s charakteristickými konkávně-konvexními svahy byla většina plochy (76 %) klasifikována jako erozní, s minimálními přechodovými oblastmi (3 %) a významnými depozičními zónami (20 %). Tento vzorec odpovídá zrychlení odtoku na konvexní části svahu, což zvyšuje erozní potenciál v horní části,

zatímco v dolní konkávní části dochází k výrazné depozici.

Naproti tomu kambizemě na konvexně-konkávních svazích vykazovaly vyváženější distribuci erozních procesů – 23 % erozních zón, 69 % transportních zón a pouze 8 % depozičních zón. Tento vzorec naznačuje, že konkávní profily kambizemí postupně zpomalují odtok, což vede k tvorbě rozsáhlejších transportních a k méně výrazným depozičním zónám.



a) černozemě



b) kambizemě

Obrázek 2a a 2b 3D model terénu vyjadřující erozně-akumulační poměry

Naše studie poskytla empirické důkazy o tom, jak tvar svahu výrazně ovlivňuje redistribuci půdního materiálu a dopady na vlastnosti půdy. Konkávně-konvexní svahy s převahou černozemí vykazovaly výraznou polarizaci mezi rozsáhlými erozními zónami a koncentrovanějšími depozičními zónami. Tento fenomén lze vysvětlit zvyšujícím se sklonem svahu směrem dolů, což způsobuje akceleraci odtoku a zvýšení jeho erozní kapacity. Naproti tomu konvexně-konkávní svahy s převahou kambizemí vykazovaly mnohem rovnoměrnější distribuci s dominancí transportních zón, což naznačuje postupné zpomalování odtoku a pozvolnější ukládání materiálu. Tyto výsledky korespondují s teoretickými modely navrženými např. Pennockem (2003) a empirickými zjištěními Zhanga *et al.* (2019), kteří rovněž pozorovali odlišnou dynamiku eroze na svazích s rozdílnou topografií.

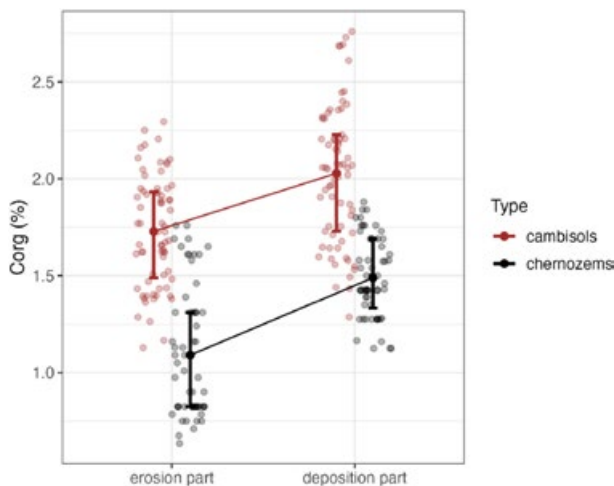
Rozdíly ve fyzikálních vlastnostech půd v závislosti na tvaru svahu

Analýza zrnitostního složení ukázala významné rozdíly mezi oběma půdními typy, ale neodhalila statisticky významné obohacení jemnými frakcemi v depozičních zónách ani u jednoho půdního typu. Stabilita půdních agregátů byla významně nižší v erozních zónách ve srovnání s depozičními zónami, což může souviset se zvýšeným obsahem organické hmoty v depozičních částech svahů. Rozdíly mezi erozními a depozičními zónami byly výraznější u černozemí na konkávně-konvexních svazích.

Překvapivým zjištěním byla nízká míra redistribuce jílnatých částic v rámci svahů u obou půdních typů, což je v rozporu s některými dřívějšími studiemi (Papiernik *et al.* 2007, Świtoniak, 2014), které dokumentovaly významné obohacení depozičních zón jemnými částicemi. Tento rozpor může být způsoben specifickými vlastnostmi studovaných půd, zejména vysokou agregační stabilitou (Bertrand *et al.* 2019).

Obsah a kvalita organické hmoty v různých částech svahu

U obou půdních typů byl zjištěn statisticky významný transport Corg do depozičních zón svahů (Obr. 3), kdy tento trend byl výraznější u černozemí na konkávně-konvexních svazích. Kvalitativní analýza organické hmoty odhalila významné rozdíly v obsahu humusových látek mezi erozními a depozičními zónami. Výsledky ukazují na vyšší kvalitu humusu v černozemích. Stupeň humifikace byl rovněž významně vyšší u černozemí v depozičních zónách, zatímco u kambizemí nebyly rozdíly mezi zónami statisticky významné. Obsah glomalinu se významně lišil mezi oběma půdními typy s vyššími obsahy u černozemí a s nižšími hodnotami v erozních zónách konkávně-konvexních svahů.



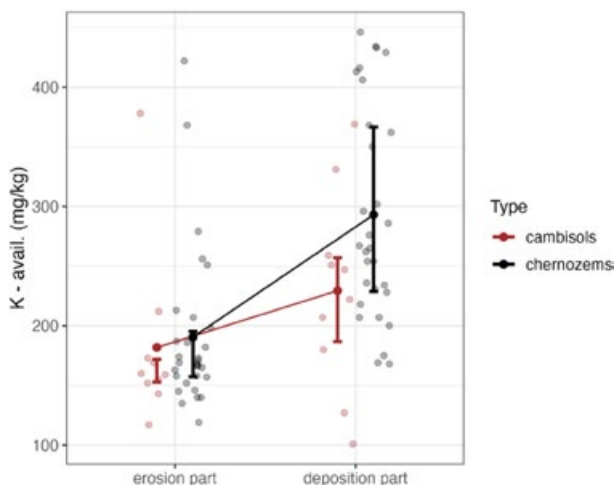
Obrázek 3 Změny v obsahu Corg. a jeho transport do akumulčních zón u sledovaných půdních typů

Výrazný transport organické hmoty pozorovaný u černozemí na konkávně-konvexních svazích i u kambizemí na konvexně-konkávních svazích představuje jeden z důležitých výsledků naší studie a koresponduje i s dalšími publikovanými pracemi, např. Holz & Augustin (2021). Naše zjištění přinášejí i nové informace

o kvalitě organické hmoty a o selektivním transportu humusových látek do depozičních částí svahu. To se týká i obsahu glomalinu, který byl výrazně nižší v erozních zónách černozemí.

Chemické vlastnosti půd v erozních a depozičních zónách

Analýza dostupných živin prokázala jejich transport do depozičních zón u obou půdních typů, ale s rozdílnou intenzitou, což odpovídá i publikovaným pracím (např. Pieri *et al.* 2009, Chowaniak *et al.* 2020) (Obr. 4). Výsledky u obsahu vápníku a hodnot pH byly rozdílné u jednotlivých půdních typů, kdy u černozemí byly vyšší hodnoty v erozních zónách, což souvisí s odhaleným půdotvorným substrátem – spraší, naopak u kambizemí byl zjištěn vyšší obsah vápníku a vyšší pH v depozičních zónách pravděpodobně v důsledku transportu těchto látek erozními procesy.



Obrázek 4 Rozdílná intenzita transportu K z erozních do akumulčních zón u jednotlivých půdních typů

Biochemické vlastnosti půd v závislosti na tvaru svahu

Aktivita půdních enzymů vykazovala různé vzorce v závislosti na půdním typu a pozici na svahu. Aktivita celulózy byla významně vyšší u kambizemí ve srovnání s černozeměmi, ale nevykazovala výrazné rozdíly mezi erozními a depozičními zónami v rámci každého půdního typu. Aktivita ureázy a dehydrogenázy byla naopak výrazně vyšší u černozemí, zejména v depozičních zónách konkávně-konvexních svahů, což může souviset s rozdílným obsahem a kvalitou půdní

organické hmoty a s tvarem svahu. Aktivita alkalické fosfatázy byla významně vyšší u černoze v srovnání s kambizeměmi, ale nevykazovala významné rozdíly mezi erozními a depozičními zónami v rámci jednotlivých půdních typů. O aktivitě půdních enzymů a o jejich vyšších hodnotách v depozičních částech svahů pojednávají rovněž publikované práce, např. Wickings *et al.* (2016), Bílá *et al.* (2020) a další.

Celkově získané výsledky ukazují, že tvar svahu (konkávně-konvexní vs. konvexně-konkávní) významně ovlivňuje intenzitu a charakter erozních procesů u černoze a kambizemí, což se projevuje v rozdílných vzorcích distribuce organické hmoty, živin a biochemické aktivity v různých částech svahů.

ZÁVĚR

Naše studie přinesla komplexní srovnání vlivu erozních a depozičních procesů na fyzikální, chemické a biochemické vlastnosti dvou významných půdních typů – černoze a kambizemí. Výsledky jasně demonstrují, že reakce těchto půdních typů na erozi se významně liší, což je dáno jak jejich vlastnostmi, tak odlišnou topografií typických svahů, na kterých se ve sledovaných územích vyskytují.

Zjistili jsme, že černoze na konkávně-konvexních svazích jsou výrazně náchylnější k erozi než kambizemě na konvexně-konkávních svazích, což se projevuje vyšší mírou potenciální vodní eroze a výraznější polarizací mezi rozsáhlými erozními zónami a koncentrovanějšími depozičními zónami. Tento rozdíl je způsoben kombinací vyšší erodibility černoze a specifickou topografií svahů, na nichž dochází k akceleraci odtoku.

Ve výzkumu byly zjištěny i rozdílné vzorce redistribuce půdních částic, organické hmoty a živin u obou půdních typů. U černoze jsme zaznamenali výraznější transport organické hmoty a humusových látek do depozičních zón ve srovnání s kambizeměmi. Podobně se lišily i biochemické vlastnosti, přičemž aktivita dehydrogenázy a ureázy u černoze výrazně rostla v depozičních zónách, zatímco u kambizemí byl tento trend méně patrný nebo zcela chyběl.

Naše výsledky mají praktické využití při navrhování manažmentu obhospodarování zemědělské půdy a implementaci protierozních opatření. Především dokumentují potřebu diferencovaného přístupu k ochraně půdy v závislosti na půdním typu a topografii terénu. Jak pro černoze na konkávně-konvexních svazích, tak i pro kambizemě na konvexně-konkávních svazích je nutné pracovat na zkoumání a návrzích vhodných systémů protierozní ochrany, a to i v kontextu probíhající klimatické změny, která přináší častější výskyt přívalových srážek. Změny v intenzitě a distribuci těchto srážek pravděpodobně povedou k zintenzivnění erozních procesů, což může mít závažné důsledky nejen pro zemědělskou produkci, ale i pro

kvalitu vody, biodiverzitu a celkové fungování krajinných ekosystémů. Důležitý je další vývoj a testování specifických protierozních opatření zohledňujících odlišnosti mezi půdními typy i typy svahů, a to od agrotechnických, organizačních až po technická protierozní opatření. Příkladem nově zaváděných protierozních opatření může být pásové střídání plodin (Obr. 5), které vykazuje jak produkční, tak environmentální profit a od roku 2025 bylo zařazeno do podporovaných opatření.



Obrázek 5 Pásové střídání plodin v zemědělské krajině jižní Moravy

PODĚKOVÁNÍ

Autoři článku děkují za podporu výzkumu erozních procesů Technologické agentury České republiky v rámci projektů SS02030018 „Centrum pro krajinu a biodiverzitu“ a SS06010290 „Pásové střídání plodin jako adaptační opatření k optimalizaci vodního hospodářství krajiny“. Zároveň děkujeme všem autorům článku Šarapatka, B., Bednář, M., Pospíšilová, L., Badalíková, B., Černohorský, J., Netopil, P., Sedlák, L. (2024): *The influence of erosion and deposition processes on the selected soil properties of Chernozems and Cambisols*, *Land* 13, 1812., z něhož jsme při zpracování textu vycházeli.

LITERATURA

Bertrand, I., Viaud, V., Daufresne, T., Pellerin, S., Recous, S. (2019). Stoichiometry constraints challenge the potential of agroecological practices for the soil C storage. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 39: 1–16.

- Bílá, P., Šarapatka, B., Hornák, O., Novotná, J., Brtnický, M. (2020). Which Quality Indicators Reflect the Most Sensitive Changes in the Soil Properties of the Surface Horizons Affected by the Erosion Processes? *Soil Water Res.*, vol. 15: 116–124.
- Du, L., Hu, Y., Gao, X., Li, W., Wang, R., Hou, F., Guo, S. (2022). Mitigation of Soil Organic Carbon Mineralization by Soil Redistribution – an Erosion-Deposition Plot Study under Natural Rainfall over Five Years. *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 327: 107827.
- Holz, M., Augustin, J. (2021). Erosion Effects on Soil Carbon and Nitrogen Dynamics on Cultivated Slopes: A Meta-Analysis. *Geoderma*, vol. 397: 115045.
- Chowaniak, M., Niemiec, M., Chowaniak, M. (2020). Effect of a Tillage System and Plant Cover on Phosphorus and Potassium Losses Due to Surface Runoff. *Journal of Elementology*, vol. 25: 917–929.
- Labaz, B., Waroszewski, J., Dudek, M., Bogacz, A., Kabala, C. (2022). Persistence of Arable Chernozems and Chernic Rendzic Phaeozems in the Eroded Undulating Loess Plateau in Central Europe. *Catena*, vol. 216: 106417.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. (2015). The New Assessment of Soil Loss by Water Erosion in Europe. *Environ. Sci. Policy*, vol. 54: 438–447.
- Papiernik, S.K., Lindstrom, M.J., Schumacher, T.E., Schumacher, J.A., Malo, D.D., Lobb, D.A. (2007). Characterization of soil profiles in a landscape affected by long-term tillage. *Soil and Tillage Research*, vol. 93(2): 335–345.
- Pennock, D.J. (2003). Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. *Soil and Tillage Research*, vol. 69(1–2): 15–26.
- Pieri, L., Bittelli, M., Hanuskova, M., Ventura, F., Vicari, A., Pisa, P.R. (2009). Characteristics of Eroded Sediments from Soil under Wheat and Maize in the North Italian Apennines. *Geoderma*, vol. 154: 20–29.
- Pozniak, S. (2019). Chernozems of Ukraine: Past, Present and Future Perspectives. *Soil Sci. Annu.*, vol. 70: 193–197.
- Šarapatka, B., Bednář, M., Pospíšilová, L., Badalíková, B., Černožský, J., Netopil, P., Sedlák, L. (2024). The influence of erosion and deposition processes on the selected soil properties of Chernozems and Cambisols, *Land*, vol. 13: 1812.
- Sarapatka, B., Cap, L., Bila, P. (2018). The Varying Effect of Water Erosion on Chemical and Biochemical Soil Properties in Different Parts of Chernozem Slopes. *Geoderma*, vol. 314: 20–26.
- Świtoniak, M. (2014). Use of soil profile truncation to estimate influence of accelerated erosion on soil cover transformation in young morainic landscapes, North-Eastern Poland. *Catena*, vol. 116: 173–184.
- Warren, S.D., Mitsova, H., Hohmann, M.G., Landsberger, S., Iskander, F.Y., Ruzyski, T.S., Senseman, G.M. (2005). Validation of a 3-D Enhancement of The Universal Soil Loss Equation for Prediction of Soil Erosion and Sediment Deposition. *Catena*, vol. 64: 281–296.
- Wickings, K., Grandy, A.S., Kravchenko, A.N. (2016). Going with the Flow: Landscape Position Drives Differences in Microbial Biomass and Activity in Conventional, Low Input, and Organic Agricultural Systems in the Midwestern U.S. *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 218: 1–10.

- Záadorová, T., Penížek, V., Šefrna, L., Drábek, O., Mihaljevič, M., Volf, Š., Chuman, T. (2013). Identification of neolithic to modern erosion–sedimentation phases using geochemical approach in a loess covered sub-catchment of South Moravia, Czech Republic. *Geoderma*, vol. 195–196: 56–69.
- Zhang, Y., Zhao, Y., Liu, B., Wang, Z., Zhang, S. (2019). Rill and gully erosion on unpaved roads under heavy rainfall in agricultural watersheds on China's Loess Plateau. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 284: 106580.

REGIONÁLNE PLODINOVÉ MODELY PRE PODPORU UDRŽATEĽNÉHO VYUŽÍVANIA POĽNOHOSPODÁRSKEJ PÔDY

Large-scale crop models in support of sustainable use of agricultural land

Rastislav Skalský¹, Mikuláš Madaras², Juraj Balkovič¹, Thomas Oberleitner¹,
Wiktor Żelazny²

¹*International Institute for Applied Systems Analysis Schlossplatz 1, A-1350
Laxenburg, Austria, balkovic@iiasa.ac.at, oberleitner@iiasa.ac.at*

²*Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Drnovská 507/73, 161 06 Praha, Česká
republika, madaras@vurv.cz, wzelazny@vurv.cz*

Korešpondujúci autor:

Mgr. Rastislav Skalský, PhD., e-mail: skalsky@iiasa.ac.at

Abstrakt

Regionálne plodinové modely sú moderným nástrojom pre simuláciu odozvy produkcie poľnohospodárskych plodín na klimatické podmienky, ktoré dokážu predpovedať dopady zmeny klímy na celosvetovú alebo regionálnu produkciu plodín. Aj keď väčšina regionálnych plodinových modelov neprikladá pôde zásadný význam, pri vhodnom nastavení môžu tieto modely simulovať aj dopady zmeny klímy na pôdu. Príspevok sa venuje modelovacej platforme EPIC-IIASA, ktorá využíva už existujúci procesný plodinový model EPIC a geo-priestorové údaje o počasí, polohe, georeliéfe, pôde, plodine, vstupoch živín a hospodárení na pôde. Výsledkom aplikácie EPIC-IIASA v rámci zvoleného územia sú priestorovo lokalizované a v čase dynamické údaje o plodinách a pôde v podmienkach minulšej, súčasnej alebo aj budúcej (predpokladanej) klímy. Výstupy EPIC-IIASA boli použité pre územie Európy ako vstup pre tréňovanie matematických algoritmov (emulátorov). Emulátory reprezentujú model v zjednodušenej podobe a môžu byť využité v rámci tvorby užívateľských služieb s potrebou rýchlej odozvy alebo v rámci integrovaných modelovacích systémov. Vďaka modelu EPIC je možné aj priame napojenie EPIC-IIASA na výsledky dlhodobých poľných pokusov. Toto v rámci podmienok Českej republiky umožnilo premietnuť poznatky o dopade hospodárenia na indikátory zdravia pôdy z konkrétnych stanovišť na širšie územie a EPIC-IIASA sa tak uplatňuje ako sľubný nástroj pre podporu rozhodovania

v oblasti tvorby, zavádzania a monitorovania environmentálnych politík v sektore pôdohospodárstva.

Kľúčové slová: EPIC-IIASA, zdravie pôdy, pôdny organický uhlík, klimatická zmena, na údajoch založené štatistické modely, systémy hospodárenia na pôde

Abstract

Regional crop models are modern tools for simulating the response of agricultural crop production to climatic conditions, capable of predicting the impacts of climate change on global or regional crop production. Although most regional crop models do not attribute significant importance to soil, with appropriate settings, these models can also simulate the impacts of climate change on soil. The paper focuses on the EPIC-IIASA modelling platform, which utilizes the existing process-based crop model EPIC and geo-spatial data on weather, geolocation, topography, soil, crop, nutrient inputs, and land management. The output of applying EPIC-IIASA within the chosen area is spatially localized and temporally dynamic data on crops and soil under past, present, or future (predicted) climate conditions. EPIC-IIASA outputs for the European region were used as inputs for training mathematical algorithms (emulators). Emulators represent the model in a simplified form and can be used in the creation of user services requiring quick responses or within integrated modelling systems. Thanks to the EPIC model, it is also possible to directly link EPIC-IIASA to the results of long-term field trials. This, within the conditions of the Czech Republic, allowed the projection of knowledge about the impact of management on soil health indicators from specific sites to a broader area, making EPIC-IIASA a promising tool for supporting decision-making in the formulation, implementation, and monitoring of environmental policies in the agricultural sector.

Keywords: EPIC-IIASA, soil health, soil organic carbon, climate change, data-driven statistical models, land use management systems

ÚVOD

Regionálne plodínové modely sú moderným nástrojom pre simuláciu odozvy produkcie poľnohospodárskych plodín na klimatické podmienky, vybrané vlastnosti pôdy a vstupy (vstup hnojív a závlahy) v planetárnej (celosvetovej), kontinentálnej alebo regionálnej mierke. Procesné plodínové modely alebo súbory procesných rovníc systému pôda-rastlina-atmosféra sú tu priamo naviazané na údaje z globálnych alebo regionálnych klimatických cirkulačných modelov. Klimatické modely v pravidelnej štvorcovej sieti (napr. 50 × 50 km alebo podrobnejšej) predpovedajú pre celé zvolené územie v dennom alebo aj jemnejšom (hodinovom)

či hrubšom (10-dennom, mesačnom) kroku vývoj klímy počas minulých období (interpolácia pozorovaní) alebo budúcich období, a to počas desaťročí až storočí.

Príkladom praktického použitia takéhoto modelovacieho systému je štúdia Jägermeyer *et al.* (2021), v ktorej autori ukazujú výsledky aplikácie ansámbľu viacerých regionálnych plodinových modelov na údaje zo zatiaľ poslednej generácie globálnych cirkulačných modelov (CMIP6) a pri uvažovaní viacerých možných scenárov predpokladaného vývoja klímy do roku 2100 odhadujú, ako kedy (pozitívne, negatívne) a v akej miere sa začnú zmeny klímy prejavovať na celosvetovej produkcii pšenice a kukurice na zrno. Iným, skôr regionálnym príkladom využitia ansámbľu plodinových modelov je skúmanie vplyvu klímy a iných faktorov na produkciu plodín v rámci vybraných stanovišť (napr. Kostková *et al.* 2021).

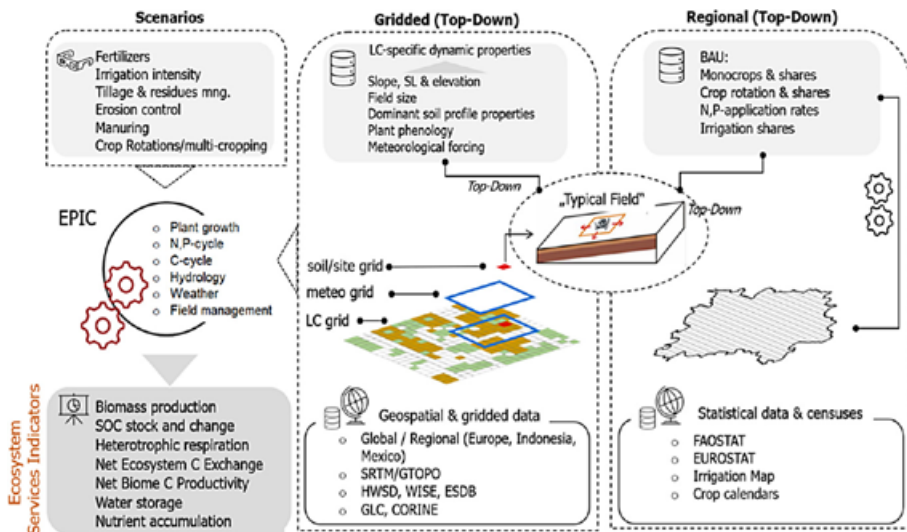
V tradičnom ponímaní väčšina regionálnych plodinových modelov vníma pôdu v zjednodušenej podobe a neprikladá jej pri hodnotení dopadov klímy na produkciu poľnohospodárskych plodín zásadný význam. Ako však ukazuje globálna štúdia s použitím modelovacej platformy pre regionálne plodinové modelovanie EPIC-IIASA na príklade kukurice na zrno, za predpokladu nízkych vstupov hnojív do pôdy a absencie závlah je simulovaná úroda v roku 2100 viac ovplyvnená vlastnosťami pôdy ako zmenou klímy (Folberth *et al.* 2016). Dá sa predpokladať, že regionálne plodinové modely by pri vhodnom nastavení mohli byť využité nielen pre hodnotenie dopadov klímy na produkciu poľnohospodárskych plodín, ale aj dopadov na fungovanie a odozvu pôdy.

Cieľom tohto príspevku je predstaviť modelovaciu platformu EPIC-IIASA ako perspektívny nástroj pre regionálne modelovanie vlastností pôdy. Na dvoch konkrétnych príkladoch z oblasti poznatkovej podpory udržateľného využívania poľnohospodárskej pôdy v kontinentálnej (Európa) a regionálnej (Česká republika) mierke ukazuje jej praktické využitie a naznačuje možnosti jej smerovania v budúcnosti.

MATERIÁL A METÓDY

Regionálny plodinový model EPIC-IIASA (ďalej iba ako EPIC-IIASA) je modelovacia platforma, ktorá bola navrhnutá a vytvorená pre potreby simulácie rastu a produkcie poľnohospodárskych plodín v mierke sveta, kontinentov a subkontinentov (Obr. 1). Platforma využíva už existujúci procesný plodinový model EPIC, vyvinutý pre simulácie na konkrétnom stanovišti (Izuarralde *et al.* 2012, Williams *et al.* 1989). To pri simuláciách umožňuje komplexne a dostatočne podrobne uvažovať procesy spojené s rastom plodín. Dynamika vývoja poľnohospodárskych plodín počas vegetačnej sezóny je pomocou EPIC-IIASA simulovaná súčasne pre veľké množstvo samostatných priestorovo lokalizovaných stanovišť,

zvyčajne v časovom rozsahu niekoľkých rokov až desaťročí. EPIC-IIASA poskytuje na výstupe súbor údajov o časovej a priestorovej zmene produkcie poľnohospodárskych plodín v odozve na zaznamenaný (historický), alebo predpokladaný (budúci, alternatívny) súbor faktorov, ktoré určujú produkciu plodín (počasie, topografia, pôda a obrábanie pôdy a agrotechnika).



Obrázok 1 EPIC-IIASA platforma pre regionálne modelovanie plodín – prvky, štruktúra a funkcionality

EPIC-IIASA pozostáva z troch samostatných prvkov (Obr. 1), ktoré zodpovedajú za jeho operačné možnosti a zabezpečujú jeho funkcionality ako celku. Jadro systému tvorí procesný model EPIC (Izuarralde *et al.* 2012, Williams *et al.* 1989), ktorý obsahuje moduly pre simuláciu rastu plodín, vodnú bilanciю pôdy vrátane povrchového a podpovrchového odtoku a erózie pôdy a bilanciю živín (toky a premeny uhlíka, dusíka a fosforu v pôde a rastline). Je doplnený o bohatý výber rôznych agrotechnických opatrení, ktorými je pri simuláciách možné manipulovať rast plodín a kolobeh vody a živín v systéme. Geo-priestorová údajová infraštruktúra zabezpečuje priestorovo reprezentované vstupy pre model EPIC (počasie, poloha, georeliéf, pôda, plodina, vstupy živín a hospodárenie na pôde), buď v podobe pravidelnej štvorcovej siete (grid) alebo priestorových simulačných jednotiek (SimU). Samostatným prvkom sú scenáre, ktoré predstavujú formuláciu konkrétnej výskumnej otázky alebo súboru otázok pre aplikáciu EPIC-IIASA s ohľadom na účel použitia – ovplyvňujú výber zaznamenaných výstupov a zvyčajne sú definované pomocou uvažovania alternatívnych vstupov o klíme (histo-

rická klíma, klimatické projekcie) a o hospodárení na pôde (adaptačné opatrenia, opatrenia na zmiernenie dopadov klimatickej zmeny ako napr. uhlíkové poľnohospodárstvo).

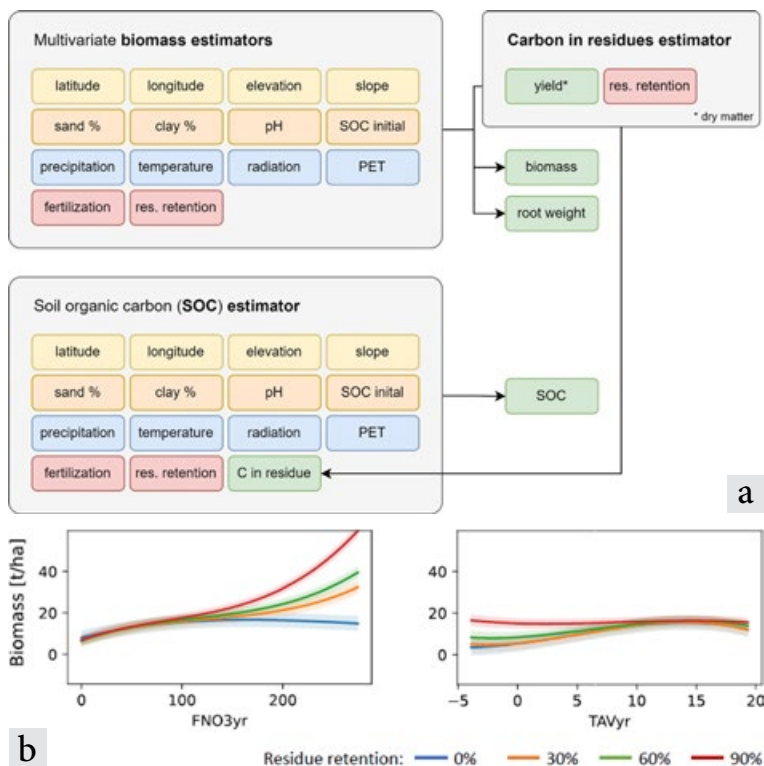
EPIC-IIASA bol validovaný ako nástroj na hodnotenie dopadov klimatickej zmeny, a to tak samostatne (napr. Balkovič *et al.* 2020, 2014, 2013, Carr *et al.* 2020) alebo ako súčasť ansámblov (napr. Jägermeyr *et al.* 2021). Tiež bola preukázaná jeho spoľahlivosť ako súčastí integrovaných modelovacích systémov (napr. Elshout *et al.* 2015, Folberth *et al.* 2020, Havlík *et al.* 2011).

VÝSLEDKY

Výsledkom použitia EPIC-IIASA pre zvolený účel a na základe predvolenej kombinácie údajových vstupov, nastavení modelu a uvažovaných scenárov je súbor viacrozmerých výstupov – údajová kocka. Hlavné osi údajovej kocky, pozdĺž ktorých sú organizované výstupy EPIC-IIASA, sú

- i) čas, časové intervaly, pre ktoré sú dostupné simulácie, dni, mesiace a roky v rámci desiatok až stoviek rokov, pre historické aj budúce obdobia;
- ii) priestor, počet priestorových simulačných jednotiek (SimU) pokrývajúcich záujmové územie (napr. viac ako 200 tis. SimU pre globálny EPIC-IIASA);
- iii) klíma, historická klíma za zvolené obdobie alebo budúce projekcie klímy pre zvolené scenáre (napr. RCP emisné scenáre 8.5, 6.0, 4.5 a 2.6 s pokrytím rokov 1900 – 2100),
- iv) plodina, počet plodín alebo osevných postupov uvažovaných v simuláciách;
- v) uvažované agrotechnické opatrenia pozostávajúce z viacerých samostatných osí, ako vstupy hnojív, závlaha, intenzita obrábania pôdy alebo hospodárenie s pozberovými zvyškami plodín.

V rámci riešenia projektu AI4SoilHealth (inovačná akcia misie EU pre pôdy v rámci programu Horizon Europe) je využívaná európska verzia EPIC-IIASA údajovej kocky ako vstup pre tvorbu služby zameranej na geo-priestorovú predikciu vývoja indikátorov zdravia pôdy a funkcií pôdy v budúcnosti. Údajová kocka pre celkom 86 tis. SimU, 36 rokov (1984 – 2019), 10 uvažovaných plodín, päť úrovní vstupu dusíkatých hnojív a štyri úrovne odoberania pozberových zvyškov plodín poskytuje tréningové údaje pre tvorbu štatistického modelu, ktorý napodobňuje (emuluje) správanie a výstupy EPIC-IIASA.



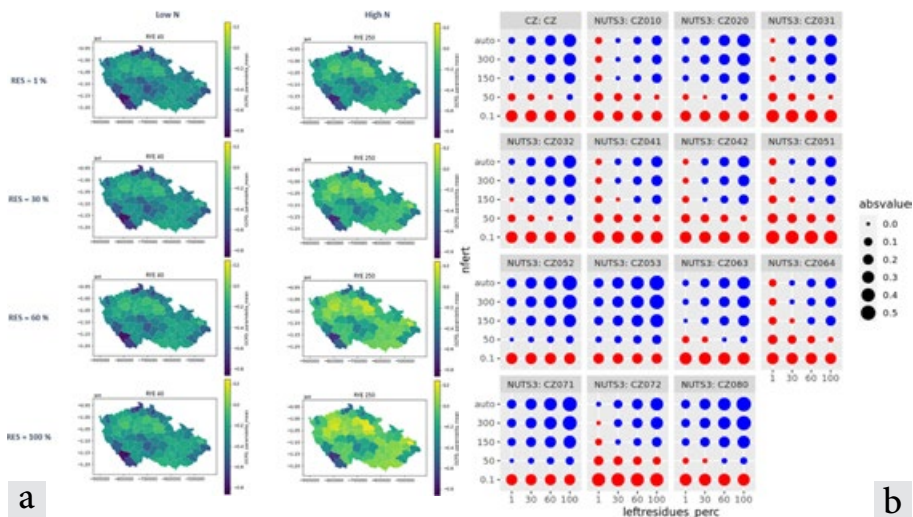
Obrázok 2 Štruktúra kaskádového regresného modelu pre zostavu emulátorov EPIC-IIASA – vstupy a emulované výstupy (a) a štatistickým emulátorom odhadnuté krivky odozvy biomasy na vstup dusíka (FNO3) a priemernú ročnú teplotu (TAVyr) pre rôzne scenáre ponechávania požberových zvyškov (Residue retention) na poli (b).

Pre potreby čo najsprávnejšieho napodobňovania (emulácie) procesov a ich výstupov, ktoré sú simulované regionálnym plodinovým modelom (EPIC-IIASA), bol štatistický emulátor rozdelený do súboru menších sekvenčných polynomických modelov (Obr. 2a). V kontexte strojového učenia je takéto usporiadanie označované ako kaskádový regresný model (CRM). Voľba polynomických modelov a ich kaskádové usporiadanie prináša niekoľko výhod, ako efektívny tréning modelov a predikcia odhadovaných premenných pomocou jednoduchšej multiplikácie matic pri predikcii a dobre určené intervaly neistôt predikcií. Polynomicke modely sú navyše v porovnaní s inými existujúcimi štatistickými modelmi dobre vysvetliteľné (Obr. 2b). Štatistické modely (pre danú premennú a plodinu) sú tré-

nované na jednotlivých vrstvách údajovej kocky podľa úrovne hnojenia a validované pomocou EPIC-IIASA simulácií pre pozorované úrovne hnojenia dusíkom. Zatiaľ čo indikátory produkcie biomasy predikované emulátorom nie sú naplno schopné sledovať trendy medziročnej zmeny simulovanej priamo EPIC-IIASA, pri odhade dlhodobého priemeru si emulátory počínajú oveľa lepšie, s hodnotou $R^2 > 0.9$ pri porovnaní s výstupmi EPIC-IIASA. Validácia emulátorov s použitím predikovaných dlhodobých priemerov je vhodné aj s ohľadom na zameranie na pôdny organický uhlík (SOC) ako indikátor zdravia pôdy. Odozva SOC na zmenu podmienok – klíma, využívanie pôdy – je všeobecne považovaná za dlhodobý proces.

Význam tvorby emulátorov v rámci projektu AI4SoilHealth spočíva v tom, že na rozdiel od originálnej verzie regionálneho plodínového modelu (EPIC-IIASA) emulátory po ich natrénovaní vyžadujú iba zlomok času a výpočtových kapacít na vygenerovanie žiadaných výstupov zo zadaných vstupných údajov (Obr. 2a). Dva konkrétne užívateľské prípady, ktoré vytvoria základ budovanej služby pre predikciu indikátorov zdravia pôdy a jej funkcií do roku 2100, sú priestorová predikcia v podrobnej priestorovej mierke (100×100 m) v celoeurópskom rozsahu a predikcia pre konkrétnu lokalitu v konkrétnom čase, ako hypotetická webová alebo mobilná aplikácia pre užívateľa pôdy ponúkajúca odhad stavu SOC v danom čase s ohľadom na predpokladané podmienky (klíma) a reálne alebo uvažované vstupy zadané užívateľom (hnojenie N, podiel pozberových zvyškov).

EPIC-IIASA umožňuje prostredníctvom použitého procesného modelu EPIC uvažovať v rámci regionálnych simulácií dopady širokého spektra agrotechnických opatrení a rozhodnutí na samotnú plodinu (produkcia biomasy, úroda), a tiež aj na pôdu (hromadenie/strata živín, erózia pôdy). Táto funkcionality EPIC-IIASA je aktuálne využívaná v projekte českého ministerstva poľnohospodárstva, ktorý je zameraný na tvorbu a overovanie modelových systémov sekvestrácie SOC v podmienkach regiónov Českej republiky. Bola vytvorená národná geo-priestorová údajová infraštruktúra pre model EPIC (EPIC-IIASA CZ), ktorá pozostáva z celkom 977 priestorových simulačných jednotiek (SimU) vytvorených rozdelením jednotlivých okresov podľa klimatického regiónu a prevládajúcich vlastností pôdy (hĺbka pôdy, pôdny druh, a trieda obsahu humusu). Každý SimU bol priradený typický pôdny profil a denné údaje o počasí medzi rokmi 1989 – 2019 z 10×10 km štvorcovej siete, a na základe príslušnej výrobnnej oblasti aj odhadované dátumy siatia a zberu najdôležitejších plodín.



Obrázok 3 Priemerná ročná zmena v obsahu SOC (t/ha) v ornici poľnohospodárskych pôd Českej republiky simulovaná pomocou EPIC-IIASA CZ medzi rokmi 2000 – 2019 v odozve na dodávané vstupy dusíka (nfert, N) a organického uhlíka z pozberových zvyškov do pôdy (leftresidues_perc, RES) pre plodinu raž ozimná, vyjadrená pre jednotlivé okresy v podobe mapy (a) a dvojrozmerných grafov (b), kde farba znaku určuje znamienko zmeny (červená – mínus, modrá – plus).

Simulovaná regionálna zmena zásoby SOC (t/ha) v ornici poľnohospodárskych pôd Českej republiky pod porastom raže siatej ozimnej v období rokov 2000 – 2019 (Obr. 3) ukazuje, že množstvo organického uhlíka a dusíka pridaného do pôdy ovplyvňuje hromadenie SOC v ornici. Zvolené stratégie môžu v závislosti od konkrétneho okresu a jeho pôdno-klimatických podmienok a vstupov do pôdy viesť k strate aj hromadeniu SOC.

Vstup uhlíka a dusíka do pôdy, ako agrotechnické opatrenia, ktoré kontrolujú aj charakter jeho premien v rámci daných stanovištných podmienok je v rámci EPIC-IIASA CZ kontrolovaný prostredníctvom

- voľby konkrétnej plodiny, ktorá reprezentuje zvolený typ – jednoročné, viacročné, krmoviny, okopaniny, a pod. a kultivarové vlastnosti plodín ako napr. dlhý, krátky, teplý, studený kultivar,
- osevného postupu uvažovaného v simuláciách – buď v podobe monokultúry (napr. Obr. 3, raž siata ozimná) alebo osevného postupu s uvažovaním rôznych plodín podľa ich typu,
- vstupu minerálnych makro živín (dusík, fosfor), a to prostredníctvom ich

množstva (nízke až nelimitované), ako aj spôsobom aplikácie (rigidné – v predefinovanom čase a dávke alebo automatické – podľa potreby na základe zvoleného indikátora),

- iv) vstupu organických hnojív, ich množstva a typu podľa zloženia a pôvodu (maštalný hnoj, čistiarenský kal, kompost a pod.),
- v) vstupu vody v podobe závlah, ako nezavlažovaná alebo zavlažovaná produkcia (automatická závlaha postrekom do vopred stanovenej maximálnej ročnej dávky),
- vi) voľby hĺbky a charakteru obrábania pôdy (radlicový pluh, disky, brány a pod.), uvažované aj nepriamo ako konvenčná, redukovaná alebo bezorbová agrotechnika,
- vii) uvažovania medziplodiny alebo zeleného úhoru, vo variante bez medziplodiny alebo s medziplodinou (n-fixujúca, nefixujúca), a nakoniec
- viii) spôsobom manažmentu pozberových zvyškov plodín, s ich úplným alebo čiastočným odoberaním alebo ponechávaním na poli.

Uvedené agrotechnické opatrenia implementované v EPIC-IIASA CZ umožňujú vhodne analyzovať potenciály alebo limity súboru opatrení typických pre určitú stratégiu pestovania plodín (systém hospodárenia) z pohľadu zavádzania uhlíkového poľnohospodárstva. Ako základné systémy hospodárenia pre výsledné hodnotenie sekvestračného potenciálu v podmienkach regiónov Českej republiky sú aktuálne uvažované i) pestovateľský systém bez živočíšnej výroby (bez pestovania krmovín a hnojenia maštalným hnojom) a ii) pestovateľský systém so živočíšnou výrobou (s pestovaním krmovín – aj viacročných a aplikáciou maštalného hnoja), oba v podtype ia, iia) komerčnom (menší počet komerčných plodín v osevnom postupe vrátane bioenergetických, odoberanie pozberových zvyškov, konvenčná orba, vyššie dávky hnojív, aj závlaha) a ib, iib) ochrannom (vyšší počet plodín v osevnom postupe vrátane netradičných, prítomnosť medziplodín, ponechávanie pozberových zvyškov, redukovaná orba, nižšie dávky hnojív, bez závlah).

DISKUSIA

Výsledky prezentované vyššie boli overené v rámci viacerých existujúcich a publikovaných štúdií. Schopnosť štatistických emulátorov trénovaných na súbore výstupov EPIC-IIASA odhadovať potenciálnu (dusíkom nelimitovanú) produkciu kukurice na zrna bola overená v celosvetovej štúdii autorov Folberth *et al.* (2019). Štatistický emulátor trénovaný na svetovej doméne vstupov a výstupov EPIC-IIASA (neriadené metódy *Gradient boosting* a *Random Forest*) bol aplikovaný na regionálne údaje pre Mexiko, pričom odhadované úrody v sieti 1 × 1 km dostatočne verne kopírovali úrody simulované samotným modelom. Autori Ippolito *et*

al. (2021) použili vstupy a výstupy európskej verzie EPIC-IIASA pre vytvorenie súboru jednoduchých štatistických emulátorov pre odhad medziročnej zmeny SOC v ornici v rámci 1×1 km štvorcov v rámci Európy v odozve na vstupy organického uhlíka a dusíka do pôdy. Na rozdiel od prístupu prezentovaného v tejto štúdii, autori neuvažovali kaskádový regresný model, ale ako súčasť prístupu použili v samostatnom kroku stratifikáciu (regionalizáciu) územia na základe PCA analýzy klimatických a pôdných podmienok. Vo výsledkoch ukázali rovnako veľmi vysokú zhodu hodnôt zmeny SOC v porovnaní s hodnotami simulovanými EPIC-IIASA. Štatistické emulátory na báze EPIC-IIASA boli testované aj v ďalšej štúdii (Ermolieva *et al.* 2024) so zameraním na kvantifikáciu klimatických rizík produkcie plodín a odozvy SOC ako súčasť integrovaných systémov pre ekonomickú optimalizáciu využívania poľnohospodárskej krajiny.

Silnou stránkou regionálneho prístupu k modelovaniu plodín založenom na modeli EPIC alebo aj inom procesnom modeli je skutočnosť, že pomocou takéhoto modelu je možné kalibrovať a validovať vplyv uvažovaných agrotechnických opatrení priamo z meraných údajov získaných v rámci prevádzky dlhodobých poľných pokusov (napr. Kostková *et al.* 2021). Regionálna kalibrácia EPIC-IIASA a vhodnosť jeho aplikácie v podmienkach Českej republiky boli detailne overené v štúdii autorov Balkovič *et al.* (2020), pričom boli využité údaje z viacerých dlhodobých pokusov v správe Výzkumného ústavu rastlinnej výroby v.v.i., Praha. Výsledky štúdie okrem parametrizácie regionálneho modelu pre procesy premeny SOC ukázali, že EPIC-IIASA dokáže vhodne replikovať pozorovanú dynamiku SOC v odozve na vstupy organického uhlíka a dusíka z minerálnych a organických hnojív do pôdy. Uvedená štúdia tiež poukázala na to, že EPIC-IIASA je vhodná platforma na formalizáciu a využitie výsledkov dlhodobých pokusov pre ich premietnutie do regionálnej mierky, ktoré je zásadné z pohľadu plánovania, zavádzania a monitoringu politík v poľnohospodárskom sektore. Podobne, práca autorov Carr *et al.* (2020) ukázala, že EPIC-IIASA je pri porovnaní s pozorovaniami dostatočne citlivý na uvažované protierózne opatrenia (typ plodiny, prítomnosť medziplodín), ktoré majú vplyv aj na akumuláciu SOC v ornici.

S rozvojom nástrojov výpočtovej techniky a stále lepšou dostupnosťou rôznych údajov o pôde a krajine (diaľkový prieskum Zeme, pôdne senzory, rýchle laboratórne rozborý pôdných vzoriek), a tiež aj matematicko-štatistických metód analýzy a spracovania veľkých súborov údajov (*big data*), sa ako súčasť systémov modelovania ponúka možnosť využitia ich regionálnych vstupov a výstupov ako súboru údajov pre tréňovanie matematických algoritmov, ktoré v zjednodušenej podobe napodobňujú (emulujú) správanie samotného modelu a rádovo rýchlejšie dokážu vytvoriť žiadané výstupy. Emulátory majú preto veľkú perspektívu vytvoriť ko-

munikačné rozhranie medzi regionálnym modelom a užívateľom (napr. v podobe webovej služby) alebo sa stať súčasťou integrovaných komplexnejších riešení usporiadania a využívania krajinného priestoru (napr. ekonomická optimalizácia využívania krajiny). Iným aspektom využitia emulátorov je rýchla a predbežná analýza dopadov na podklade inovovaných alebo aktualizovaných údajov (nová generácia klimatických cirkulačných modelov, inovované mapy krajiny pokrývajúcej zeme, či nové podrobné údaje o vlastnostiach pôdy).

Využitie procesného plodinového modelu (EPIC) ako jadra regionálneho plodinového modelu (EPIC-IIASA) umožňuje v rámci zvoleného územia simulovať odozvu plodín a pôdy na rôzne spôsoby hospodárenia, ktoré majú vplyv na úrodu, a tiež aj na zdravie a degradáciu pôdy (voľba plodín, oševné postupy, medziplodiny, typ orby, aplikácia živín a vody, hospodárenie s pozberovými zvyškami). Procesný model umožňuje aj priame napojenie systému na dlhodobé poľné pokusy – zdroj poznatkov pre regionálnu kalibráciu a validáciu systému. Toto spolu s možnosťou voľby mierky a podrobnosti geo-priestorových vstupov pre regionálny plodinový model dáva tomuto nástroju možnosť prispôbovania sa potrebám koncového užívateľa. Napríklad vytvárať jadro platformy pre podporu rozhodovania v oblasti zavádzania a monitorovania politik a nástrojov udržateľného hospodárenia na pôde, vrátane adaptácie a zmiernenia dopadov klimatickej zmeny v sektore pôdohospodárstva. Na rozdiel od viacerých, v súčasnosti používaných metód a nástrojov na inventarizáciu zdrojov s podobným zameraním (napr. uhlíkové alebo erózne kalkulačky na báze aktuálnych údajov o využívaní krajiny), regionálne plodinové modely alebo ich emulátory ponúkajú navyše aj možnosť predikcie do budúcnosti na podklade údajov z klimatických cirkulačných modelov.

ZÁVER

V príspevku je prezentovaný nástroj pre výskum a inventarizáciu prírodných zdrojov vrátane pôdy a jej funkcií, ktorý je založený na kombinácii procesného plodinového modelu systému pôda-rastlina-atmosféra a geo-priestorových údajov popisujúcich podmienky klímy, stanovišta (topografia, pôda) a charakter využívania poľnohospodárskej krajiny (plodina a jej vlastnosti, spôsob hospodárenia) v rámci zvoleného územia.

Po správnom zostavení, regionálnej kalibrácii uvažovaných procesov a validácii výstupov je vytvorený regionálny plodinový model (EPIC-IIASA) schopný vytvárať priestorovo lokalizované a v čase dynamické údaje o odozve plodín a pôdy na uvažované spôsoby hospodárenia na pôde, a to v podmienkach minulej, súčasnej alebo aj budúcej (predpokladanej) klímy.

Využitie regionálnych vstupov a výstupov EPIC-IIASA ako súboru údajov pre tré-

novanie matematických algoritmov (emulátorov) môže vytvoriť podmienky pre využitie regionálneho plodínového modelu aj v rámci rôznych systémov, kde sa vyžaduje rýchla odozva (webové služby) alebo dynamická integrácia s viacerými ďalšími modelmi pri syntetickom riešení integrovaných environmentálnych problémov.

Vďaka využitiu procesného plodínového modelu (EPIC) ako jadra regionálneho plodínového modelu (EPIC-IIASA) je možné priame napojenie systému na výsledky dlhodobých poľných pokusov a premietnuť poznatky o dopade pozorovaných agrotechnických opatrní na indikátory zdravia pôdy z konkrétneho stanovišťa na širšie územie. Toto prináša možnosti pre využitie regionálneho plodínového modelu ako spoľahlivého nástroja pre podporu rozhodovania v oblasti tvorby, zavádzania a monitorovania environmentálnych politík v sektore pôdohospodárstva.

POĎAKOVANIE

Práca na tejto publikácii bola podporená výskumnou a inovačnou akciou Európskej únie Horizont Europe v rámci zmluvy č. 101086179 (AI4SoilHealth) a zo zdrojov projektu "Vytvoření a ověření modelových systémů dlouhodobé sekvence uhlíku v ČR" podporeného Ministerstvom poľnohospodárstva Českej republiky v rámci programu "ZEMĚ" na základe zmluvy č. QK23020056.

LITERATÚRA

- Balkovič, J., Van der Velde, M., Schmid, E., Skalsky, R., Khabarov, N., Obersteiner, M., Sturmer, B., Xiong, W. (2013). Pan-European crop modelling with EPIC: Implementation, up-scaling and regional crop yield validation. *Agricultural Systems*, vol. 120: 61–75, 10.1016/j.agsy.2013.05.008.
- Balkovič, J., Van der Velde, M., SKALSKÝ, R., Xiong, W., Folberth, C., Khabarov, N., Smirnov, A., Mueller, N.D., Obersteiner, M. (2014). Global wheat production potentials and management flexibility under the representative concentration pathways. *Global and Planetary Change*, vol. 122: 107–121, 10.1016/j.gloplacha.2014.08.010.
- Balkovič, J., Madaras, M., Skalský, R., Folberth, C., Smatanová, M., Schmid, E., Van der Velde, M., Kraxner, F., Obersteiner, M. (2020). Verifiable soil organic carbon modelling to facilitate regional reporting of cropland carbon change: A test case in the Czech Republic. *Journal of Environmental Management*, vol. 274, e111206. 10.1016/j.jenvman.2020.111206.
- Carr, T.W., Balkovič, J., Dodds, P.E., Folberth, C., Fulajtár, E., Skalský, R. (2020). Uncertainties, sensitivities and robustness of simulated water erosion in an EPIC-based global gridded crop model. *Biogeosciences*, vol. 17(21): 5263–5283. 10.5194/bg-17-5263-2020.
- Elshout, P.M.F., Van Zelm, R., Balkovič, J., Obersteiner, M., Schmid, E., Skalsky, R., Van der Velde, M., Huijbregts, M.A.J. (2015). Greenhouse-gas payback times for crop-based biofuels. *Nature Climate Change*, vol. 5(6): 604–610. 10.1038/nclimate2642.
- Ermolieva, T., Havlik, P., Derci Augustynczyk, A.L., Boere, E., Frank, S., Kahil, T.,

- Wang, G., Balkovič, J., Skalský, R., Folberth, C. *et al.* (2023). A Novel Robust Meta-Model Framework for Predicting Crop Yield Probability Distributions Using Multisource Data. *Cybernetics and Systems Analysis*, 10.1007/s10559-023-00620-z.
- Folberth, C., Skalsky, R., Moltchanova, E., Balkovic, J., Azevedo, L., Obersteiner, M., Van Der Velde, M. (2016). Uncertainty in soil data can outweigh climate impact signals in crop yield simulations. *Nature Communications* 7, art.no.11872. 10.1038/ncomms11872.
- Folberth, C., Baklanov, A., Balkovič, J., Skalský, R., Khabarov, N., Obersteiner, M. (2019). Spatio-temporal downscaling of gridded crop model yield estimates based on machine learning. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 264: 1–15, 10.1016/j.agrformet.2018.09.021.
- Folberth, C., Khabarov, N., Balkovic, J., Skalsky, R., Visconti, P., Ciais, P., Janssens, I., Peñuelas, J., Obersteiner, M. (2020). The global cropland sparing potential of high-yield farming. *Nature Sustainability*, vol 3: 281–289, 10.1038/s41893-020-0505-x.
- Havlik, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Bottcher, H., Fritz, S., Skalsky, R., Aoki, K., De Cara, S., Kindermann, G., Kraxner, F. *et al.* (2011). Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. *Energy Policy*, vol, 39(10): 5690–5702, 10.1016/j.enpol.2010.03.030.
- Ippolito, T., Balkovič, J., Skalský, R., Folberth, C., Krisztin, T., Neff, J. (2023). Predicting spatiotemporal soil organic carbon responses to management using EPIC-IIASA meta-models. *Journal of Environmental Management*, vol. 344: e118532. 10.1016/j.jenvman.2023.118532.
- Izaurrealde, R.C., McGill, W.B., Williams, J.R. (2012). Development and application of the EPIC model for carbon cycle, greenhouse gas mitigation, and biofuel studies. In: *Managing Agricultural Greenhouse Gases*. Elsevier, pp. 293–308.
- Jägermeyr, J., Müller, C., Ruane, A.C., Elliott, J., Balkovic, J., Castillo, O., Faye, B., Foster, I., Folberth, C., Franke, J.A., Fuchs, K., Guarin, J.R., Heinke, J., Hoogenboom, G., Iizumi, T., Jain, A.K., Kelly, D., Khabarov, N., Lange, S., Lin, T.-S., Liu, W., Mialyk, O., Minoli, S., Moyer, E.J., Okada, M., Phillips, M., Porter, C., Rabin, S.S., Scheer, C., Schneider, J.M., Schyns, J.F., Skalsky, R., Smerald, A., Stella, T., Stephens, H., Webber, H., Zabel, F., Rosenzweig, C. (2021). Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. *Nature Food*, vol. 2: 873–885. 10.1038/s43016-021-00400-y.
- Khabarov, N., Smirnov, A., Balkovič, J., Skalský, R., Folberth, C., Van der Velde, M., Obersteiner, M. (2020). Heterogeneous Compute Clusters and Massive Environmental Simulations Based on the EPIC Model. *Modelling*, vol. 1(2): 215–224.
- Kostková, M., Hlavinka, P., Pohanková, E., Kersebaum, K.C., Nendel, C., Gobin, A., Olesen, J.E., Ferrise, R., Dibari, C., Takáč, J., Topaj, A., Medvedev, S., Hoffmann, M.P., Stella, T., Balek, J., Ruiz-Ramos, M., Rodríguez, A., Hoogenboom, G., Shelia, V., Ventrella, D., Giglio, L., Sharif, B., Oztürk, I., Rötter, R.P., Balkovič, J., Skalský, R., Moriondo, M., Thaler, S., Žalud, Z., Trnka, M. (2021). Performance of 13 crop simulation models and their ensemble for simulating four field crops in Central Europe. *The Journal of Agricultural Science*, vol. 159(1–2): 69–89. 10.1017/S0021859621000216.
- Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., Spanel, D.A. (1989). The EPIC crop growth model. *Transactions of the ASAE* 32, 497–0511.

VÝSKUM PÔD NA LESNÍCKEJ FAKULTE TECHNICKEJ UNIVERZITY VO ZVOLENE

Soil Research at the Faculty of Forestry, Technical University Zvolen

Erika Gömöryová

*Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T.G. Masaryka 24,
960 01 Zvolen,*

e-mail: erika.gomoryova@tuzvo.sk

Abstrakt

Lesná pôda zohráva významnú úlohu nielen pri raste a produkcii lesných porastov, ale plní aj ďalšie funkcie (napr. v kolobehu uhlíka, retencii vody, zachovaní biodiverzity). S akceleráciou environmentálnych zmien sú poznatky o odozve lesných pôd na tieto zmeny čoraz dôležitejšie. Pracovisko Katedry prírodného prostredia Lesníckej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene sa intenzívne venuje výskumu lesných pôd, pričom sa zameriava najmä na problematiku akumulácie uhlíka v lesných pôdach a pôdnym mikroorganizmom, a to ako v prírodných lesných porastoch, tak aj v porastoch ovplyvnených prírodnými a antropogénnymi disturbanciami. Budúci výskum by sa mal zamerať najmä na otázky vplyvu klimatickej zmeny na lesné pôdy, technologický pokrok a udržateľné stratégie hospodárenia s cieľom zabezpečiť odolnosť a funkčnosť ekosystémov.

Kľúčové slová: lesné pôdy, výskum pôd, prírodné lesy, disturbancia lesov

Abstract

Forest soils play an important role not only in the growth and production of forest stands, but also in the other functions (such as the global carbon cycle, water retention, biodiversity conservation). As environmental changes accelerate, understanding of the response of forest soils to the environmental changes becomes increasingly important. The Department of Natural Environment of the Faculty of Forestry, TU Zvolen, is intensively involved in forest soils research, focusing in particular on the carbon accumulation and soil microbial functions in natural forest stands and stands affected by natural and anthropogenic disturbances. Future research should focus on the effect of climate change on forest soils, technological advances and sustainable management strategies to ensure the resilience and functionality of ecosystems.

Keywords: forest soils, soils research, natural forest, forest disturbances

ÚVOD

Pôda predstavuje neoddeliteľnú a veľmi dôležitú súčasť lesného ekosystému. Poskytuje stromom nielen priestor na ich ukotvenie, ale zásobuje ich aj živinami a vodou, čím ovplyvňuje ich rast a produkciu. Okrem toho pôda plní širokú škálu ďalších kľúčových funkcií, ako je napr. sekvestrácia uhlíka, regulácia hydrologického cyklu, zohráva dôležitú úlohu pri rozklade organických látok a uvoľňovaní živín. Pôda je veľmi dynamický systém, ktorý poskytuje životný priestor nespočetnému množstvu rôznych organizmov.

Lesné pôdy sa vyznačujú určitými špecifikami v porovnaní s inými pôdami. Na rozdiel od mnohých poľnohospodársky využívaných pôd sú lesné pôdy väčšinou prirodzene štruktúrované, s prirodzeným sledom horizontov, ktoré nie sú navzájom premiešané ako v prípade ornej pôdy. Často sa vyskytujú v extrémnejších podmienkach, na miestach, kde neboli, resp. nie sú vhodné podmienky pre pestovanie poľnohospodárskych plodín či už v dôsledku nepriaznivých vlastností pôdy (napr. vysoká skeletnatosť, plytkosť), alebo z hľadiska ich výskytu (exponovaný terén, nepriaznivejšie klimatické podmienky). Významne sa odlišujú od iných pôd aj tým, že vplyv lesného porastu na pôdu je dlhodobý, rádo vo desiatkach až stovkách rokov. Počas tohto dlhého obdobia sa dostáva na povrch pôdy a do samotnej pôdy významné množstvo organickej hmoty vo forme opadnutého lístia, ihličia, a odumretých koreňov. Vytvára sa tu povrchová vrstva viac či menej rozloženaj organickej vrstvy – pokrývkového humusu, ktorý výrazne ovplyvňuje fyzikálne, chemické a biologické vlastnosti pôdy. Korene stromov často penetrujú do veľkej hĺbky a ovplyvňujú vlastnosti nielen najvrchnejších horizontov, ale aj nižšie ležiace vrstvy pôdy. A hoci väčšia časť koreňov sa vyskytuje blízko k pôdnemu povrchu, hlbšie korene sa tiež podieľajú na biogeochemickom cykle živín či už odberom živín z pôdy, alebo naopak, návratom živín naspäť do pôdy, keďže ich odumretím sa stávajú významným zdrojom pre tvorbu humusu. Koruny stromov tienia povrch pôdy, čím zmierňujú teplotné extrémy – udržiavajú pôdu o niečo chladnejšiu cez deň a teplejšiu v noci ako je pôda na otvorenom priestranstve. Lesná vegetácia významne ovplyvňuje aj hydrologický režim pôdy. Tým, že je povrch pôdy chránený pokrývkovým humusom, zlepšuje sa infiltračná schopnosť pôdy, ktorá je umocňovaná aj kanálmi v samotnej pôde po odumretých starých koreňoch.

Výskum lesných pôd či už v Európe alebo vo svete sa postupne vyvíjal a odrážal pokrok v analytických technikách, ekologických poznatkoch a environmentálnych výzvach. Počiatočný výskum lesných pôd sa zameriaval na genetické aspekty vývoja pôd a hodnotenie základných fyzikálnych a chemických vlastností pôdy.

Neskoršie sa výskum rozšíril aj o problematiku biogeochemického cyklu, najmä kolobeh uhlíka, dusíka a fosforu. Zvýšil sa záujem o problematiku vplyvu pôdy na produkciu lesných porastov, príjem živín stromami a produkčný potenciál lesných pôd. Otázky vplyvu kyslých dažďov na zakysľovanie pôdy, vymývanie katiónov a toxicitu hliníka sa stali hlavnými témami výskumu v Severnej Amerike a v Európe prekvapujúco už od polovice 20. storočia. Postupne došlo aj k rozvoju dlhodobých programov monitorovania lesných pôd (napr. Hubbard Brook Experimental Forest, USA, európske siete monitoringu pôd).

Slovensko je krajinou s dlhodobou lesníckou tradíciou, lesníckym školstvom a v neposlednej miere aj lesníckym výskumom, uskutočňovaným najmä na pracoviskách Lesníckej fakulty Vysokej školy lesníckej a drevárskej (dnes Technickej univerzity) vo Zvolene a Výskumného ústavu lesného hospodárstva (dnes Národné lesnícke centrum) vo Zvolene (Stockmann 2016). Pracovníci Katedry geológie a pedológie na Lesníckej fakulte VŠLD, ktorá neskôr prešla transformáciou a dnes pôsobí pod názvom Katedra prírodného prostredia, sa už od jej založenia významnou mierou podieľali na výskume lesných pôd na Slovensku, pričom výskum sa uberal podobným smerom ako výskum v ostatných krajinách Európy. Orientoval sa predovšetkým na genézu pôd a pôdnu systematiku, geneticko-produkčné vlastnosti lesných pôd, kolobeh živín, neskôr aj na vplyv imisií na lesné pôdy, infiltráciu vody do pôdy a vodný režim lesných pôd (Sobocká & Šarapatka 2018).

Zameranie výskumu

V súčasnosti výskumný tím pedológov na Katedre prírodného prostredia LF TUZVO tvoria len traja pracovníci: Viliam Pichler, Erika Gömöryová a Marián Homolák. Ich výskumná aktivita sa orientuje na niekoľko oblastí:

- 1) štúdium zásob pôdneho organického uhlíka, ich variabilitu v priestore a čase, zmeny súvisiace s manažmentom lesných porastov, vplyv mŕtveho dreva na zásoby pôdneho uhlíka, zmeny zásob v podmienkach klimatickej zmeny a východiská ich udržania, príp. obnovy;
- 2) otázky pôdnej biodiverzity, hodnotenie jej úlohy pri fungovaní a stabilite lesných ekosystémov, taxonomická a funkčná diverzita pôdných mikroorganizmov, funkčná diverzita pri rôznych priestorových mierkach a trofických úrovniach, faktory ovplyvňujúce biodiverzitu, pokles biodiverzity a možnosti jej udržania, úloha biodiverzity v kľúčových ekosystémových službách;
- 3) štúdium transportu vody a látok v prírodných a manažovaných lesných ekosystémoch a v meniacich sa klimatických podmienkach, úloha pokrývkového humusu v procesoch infiltrácie vody do pôdy a ochrany pred eróziou, využi-

tie elektrickej rezistívnej tomografie ako moderného nástroja pre určovanie hĺbky a skeletnatosti pôd, identifikáciu vrstiev rôzneho zloženia či nasýtenia vodou a pod.

Pri výskume tím pedológov Katedry prírodného prostredia LF TUZVO úzko spolupracuje aj s odborníkmi s inou špecializáciou v rámci fakulty, či inými akademickými a výskumnými inštitúciami v rámci Slovenska (napr. NLC vo Zvolene, NPPC – VÚPOP, SPU v Nitre, SAV) i mimo neho.

Výskum pôd v prírodných lesných ekosystémoch

Prírodný les sa vyvíja podľa vlastných prírodných zákonitostí. Jedným zo znakov prírodného lesa je jeho rôznovekosť podmienená diferencovaným prirodzeným doživaním stromov a dlhším trvaním obnovy (Korpeľ 1991, Bublinec & Pichler 2001). V rámci vývojového cyklu sa takmer v každom type prírodného lesa striedajú plochy s komplikovanou, výškovo a plošne značne diferencovanou výstavbou, s plochami s jednoduchšou, výškovo vyrovnanou výstavbou a tiež rôznymi prechodmi medzi nimi. Vytvára sa tak určitá textúra, mozaika, pričom druhová pestrosť a značná členitosť terénu podmieňujú maloplošnosť textúry porastov a opačne (Korpeľ 1991). Predpokladá sa, že maloplošné zmeny hustoty, veku, priemeru a výškovej štruktúry stromov podmieňujú vyššiu heterogenitu prostredia a vyššiu diverzitu rastlinných a živočíšnych spoločenstiev (Bobiec 1998, Ferris-Kaan *et al.* 1998, Bublinec & Pichler, 2001, Sullivan *et al.* 2009), v konečnom dôsledku aj väčšiu variabilitu pôdných vlastností a výraznejšiu priestorovú diferenciáciu pôd ako v lesoch obhospodarovaných. Častejšie sa tu vyskytujú aj disturbance po vývratoch, či miesta s padnutými odumretými stromami a ich časťami v rôznom štádiu dekompozície, ktoré sú príčinou špecifickej variability na takýchto lokalitách. Vzhľadom na to, že tieto ekosystémy sa vyvíjajú bez výrazného antropogénneho vplyvu, možno ich z nášho pohľadu považovať za ekosystémy referenčné.

Výskumu priestorovej variability pôdných vlastností, akumulácie pôdneho uhlíka a analýza a objasnenie odozvy pôdnej bioty na meniace sa abiotické a biotické faktory ich prostredia v prírodných lesných ekosystémoch venujeme na rôznych úrovniach – na úrovni porastu, regiónu a na úrovni širšieho regiónu až globálnej úrovni.

Výskum pôd na úrovni porastu

Na úrovni porastu sme vykonali v poslednej dekáde detailný výskum v oblasti Polonín – NPR Havešová, Kyjov a Stužica (porasty bukové a zmiešaný porast), NPR Dobročský prales a Hrončecký grúň (zmiešané porasty), Badín (bukový porast). V rámci detailnej siete odberných miest (Obr. 1) sme zisťovali zmeny pôdných charakteristík a biodiverzity vo vzťahu k zmenám najmä stromovej zložky

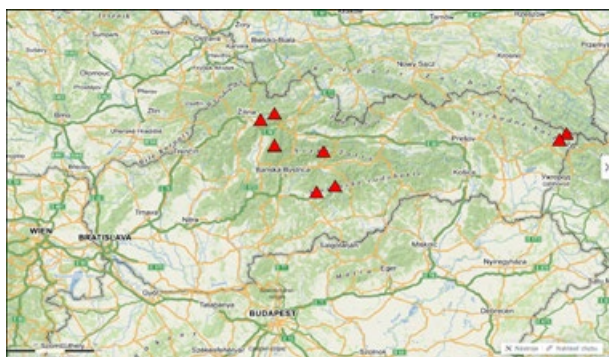
porastu, keďže na úrovni porastu sme nepredpokladali zmeny v pôdotvornom substráte, reliéfe či ďalších environmentálnych faktoroch. Zamerali sme sa na posúdenie vplyvu vlastností korunovej vrstvy porastu, otvorenosti zápoja a ukazovateľov štruktúry porastu ako sú napr. nadzemná biomasa stromov i zmladenia, zásoba porastov stromov s hrúbkou $d_{1,3} > 8$ cm, aditívny index hustoty porastu, koeficient homogenity, relatívne zastúpenie vývojových štádií, a ďalšie.



Obrázok 1 Rozmiestnenie odberných miest na lokalite NPR Havešová

Výskum pôd na úrovni regiónu

Na úrovni regiónu (Slovenska) sme analyzovali pôdne vlastnosti z prírodných porastov s dominanciou buka (NPR Šramková, Kornietová, Šútovská dolina, Klenovský Vepor, Polana, Obrštín, Havešová, Stučica a Kyjov, Obr. 2) a smreka (NPR Jánošíková kolkáreň, Smrekovica, Ďumbier, Pilsko, Tichá dolina, Bielovodská dolina, Osobitá). Keďže išlo o porasty situované v rôznych nadmorských výškach, na rôznych pôdnych typoch (kambizem, andozem, ranker, podzol, rendzina, a ich rôzne subtypy), pri analýze pôdnych funkcií už boli brané do úvahy aj tieto faktory. Kým na úrovni porastu sme sa zamerali najmä na vlastnosti pokrývkového humusu a najvrchnejšieho organo-minerálneho A-horizontu, v prípade výskumu pôd na regionálnej úrovni sme hodnotili pôdne vlastnosti v rámci celého pôdneho profilu.



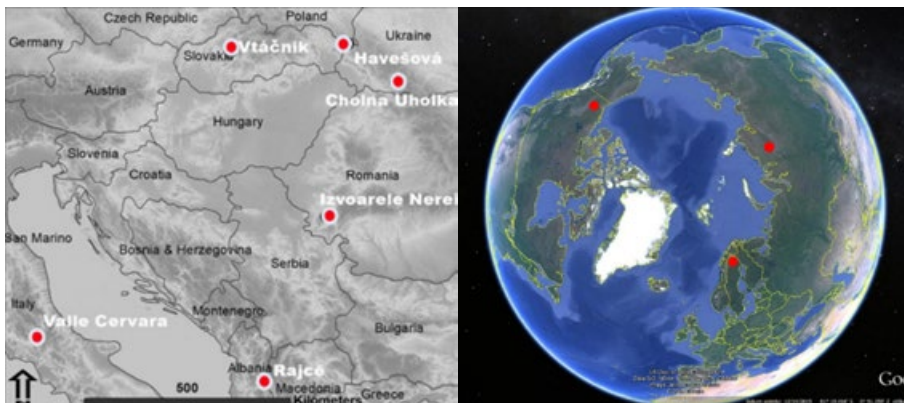
Obrázok 2 Rozmiestnenie výskumných lokalít
s prírodnými bukovými lesmi v rámci Slovenska

Výskum pôd na úrovni širšieho regiónu až globálnej úrovni

Na úrovni širšieho regiónu bol výskum realizovaný na pôdach v bukových prírodných lesných ekosystémoch situovaných pozdĺž karpatského oblúka, a to konkrétne od Malých Karpát, Vtáčnika a Polonín (Slovensko), cez Uholku (Ukrajina), Izvoarele Nerei (Rumunsko), Albanidy (Rajčë, Albánsko), a v centrálnych Apeninách (Val Cervera, Taliansko). Plochy sa nachádzali v nadmorskej výške 650 – 1800 m n.m. a pôdy bolo možné zaradiť k pôdnym typom kambizem, andozem a rendzina. Zároveň sa na týchto lokalitách hodnotil aj vplyv mŕtveho dreva na koncentráciu C v pôde a pôdnu biotu. Otázku, či sa „pattern“ odozvy pôdných vlastností na zmeny biotického a abiotického prostredia mení v súvislosti so zemepisnou šírkou, sme riešili analýzou dát získaných pozdĺž dvoch rozsiahlych transektov (Obr. 4) a to:

i/ na 1200 km dlhom transekte od Tuktoyaktuku po Whitehorse v subarktickej až arktickej zóne Kanady, pričom plochy sa nachádzali v oblasti so zemepisnou šírkou medzi 60,58661° a 69,44152° a zemepisnou dĺžkou medzi 138,75° a 133,03°, v nadmorskej výške medzi 5 a 1169 m n.m.;

ii/ na cca 1100 km dlhom transekte pozdĺž Apeninského polostrova (Taliansko), v oblasti medzi zemepisnou šírkou 38,17333° a 46,53111° a zemepisnou dĺžkou 10,61278° a 16,32111°, v nadmorskej výške 800 – 1550 m n. m. Zároveň sa kolektív pedológov zaoberal aj vlastnosťami pôd a ich sekvestračným potenciálom pre uhlík na severnej hranici rozšírenia lesných ekosystémov za polárnym kruhom v oblasti Kanady (Yukon, Northwest Territories), Švédska (Laponsko) a Ruska (Sibír, Putoranská plošina) (Obr. 3).



Obrázok 3 Rozmiestnenie plôch s odbernými miestami v prírodných lesných ekosystémoch buka pozdĺž karpatského oblúka a v centrálnych Apeninách (obrázok vľavo), a za severným polárnym kruhom (obrázok vpravo)



Obrázok 4 Rozmiestnenie odberných miest pozdĺž transekte v Kanade (obrázok vľavo) a Apeninského polostrova (obrázok vpravo)

Vplyv disturbancií na lesné pôdy

V posledných desaťročiach sa v mnohých regiónoch sveta zaznamenal nárast intenzity a frekvencie extrémnych klimatických javov, ktoré ovplyvňujú rôzne zložky životného prostredia vrátane lesných ekosystémov (Seidl *et al.* 2014, Mezei *et al.* 2017). V lesoch európskeho mierneho pásma ide najmä o silné víchrice, extrémne suchá, požiare a záplavy. Disturbancie spôsobené extrémnymi klimatic-

kými javmi ako aj biotickými činiteľmi môžu výrazne ovplyvniť lesné ekosystémy a znížiť schopnosť lesov poskytovať ekosystémové služby spoločnosti (Ammer *et al.* 2018). Lesné ekosystémy zároveň ohrozujú faktory súvisiace s ľudskou činnosťou, ako je využívanie pôdy, požiare, zvýšený prísun dusíka, šírenie inváznych druhov, ako aj nevhodné obhospodarovanie lesov (Hlásny *et al.* 2009, Yuhe *et al.* 2020). Disturbancie lesov často sprevádzajú zmeny nadzemnej biomasy, pokrývnosti a diverzity podrastu, mikroklimy, čo môže následne ovplyvniť aj funkcie pôdy a jej ekosystémové služby (Hevia *et al.* 2019).

Vplyv veternej kalamity a požiaru na pôdne vlastnosti

V r. 2004 došlo na území TANAP-u k veľkoplošnému poškodeniu lesných porastov v dôsledku silného vetra (vetrová kalamita), a o rok neskôr bola časť kalamitou zasiahnutej plochy zároveň postihnutá požiarom. Pracovníci z Výskumnej stanice ŠL TANAP-u pod vedením doc. Ing. Petra Fleischera, PhD. založili v r. 2005 výskumné plochy, na ktorých sa odvtedy monitorujú rôzne zložky prírodného prostredia, vrátane pôdy. Monitoring a výskum sa vykonáva na 4 plochách (Obr. 5), ktoré sa líšia typom disturbancie a následným manažmentom. Konkrétne ide o 3 plochy po vetrovej kalamite:

- plochu EXT – z ktorej boli padnuté stromy odstránené;
- plochu NEX – na ktorej boli padnuté stromy ponechané a plocha bola ponechaná na spontánny vývoj;
- plochu FIR – padnuté stromy boli z nej odstránené, ale plocha bola poškodená požiarom v roku 2005.

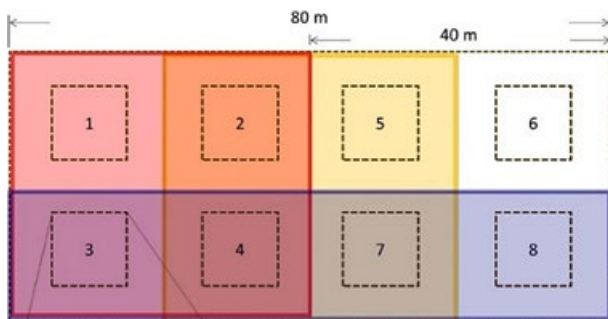
Štvrtá plocha je plocha kontrolná (REF, referenčná), ktorá pri zakladaní plôch bola vybraná v poraste nepoškodenom vetrovou kalamitou. V prvých rokoch sme realizovali výskum pôdnej zložky v jednoročných intervaloch, neskôr v 5-ročných intervaloch.



Obrázok 5 Výskumné plochy v Tatranskom národnom parku (zľava doprava plochy EXT – poškodená vetrom s odstránenými popadanými stromami, FIR – ako EXT, ale zasiahnutá požiarom, NEX – poškodená vetrom, ale popadané stromy neboli z plochy odstránené a REF – kontrolná plocha nezasiahnutá silným vetrom)

Vplyv zvýšeného inputu dusíka, vyhrabávania opadu a redukcie porastového zápoja

Výskum sa zameriava na lesné pôdy v súvislosti s ich potenciálnou eutrofizáciou v dôsledku atmosférickej depozície dusíka a možnosťami ich de-eutrofizácie. Predpokladáme, že zvýšený input N by mohol byť eliminovaný vyhrabávaním opadu alebo redukováním zápoja, teda znížením prísunu dusíka v biomase prichádzajúcej na povrch pôdy. Cieľom výskumu je analyzovať a objasniť odozvu pôdných vlastností na rôzny manažment a zistiť, či lesnícke opatrenia môžu modifikovať vplyv zvýšeného inputu N na pôdne vlastnosti a pôdnu mikrobiotu. Výskumné plochy sa nachádzajú na VŠLP TU vo Zvolene, ktoré založil prof. Ing. Karol Ujházy, PhD. a jeho tím vegetačných ekológov v roku 2017. Výskum prebieha na 5 lokalitách v okolí Zvolena, na každej lokalite je situovaných 8 plôch líšiacych sa spôsobom „treatmentu“ a ich kombináciami (Obr. 6). „Treatment“ zahŕňa i) zvýšený prísun N hnojením, ktoré simuluje zvýšený prísun N z atmosféry v dôsledku antropogénnej činnosti, ii) redukcii korunového zápoja porastu v dôsledku výrubu nižších etáží drevín, najmä vysoko tieniacich drevín, ako je buk alebo hrab, iii) vyhrabávanie opadanky. Experiment zahŕňa aj plochu kontrolnú (bez akéhokoľvek zásahu). Všetky „treatmenty“ sú skombinované do ôsmich jedinečných kombinácií. Výskum pôdy sa tu vykonáva od r. 2017, do r. 2020 sme odbery pôdných vzoriek a merania vykonávali v ročných intervaloch, neskôr sme vzhľadom na finančnú náročnosť pôdných analýz prešli na dvojročné intervaly.



Obrázok 6 Schéma výskumných plôch s rôznymi zásahmi (farba červená označuje plochy s redukovaným zápojom, žltá – s vyhrabávaním opadanky, modrá – hnojené plochy)

Vplyv využívania krajiny na akumuláciu pôdneho organického uhlíka a pôdnu biodiverzitu

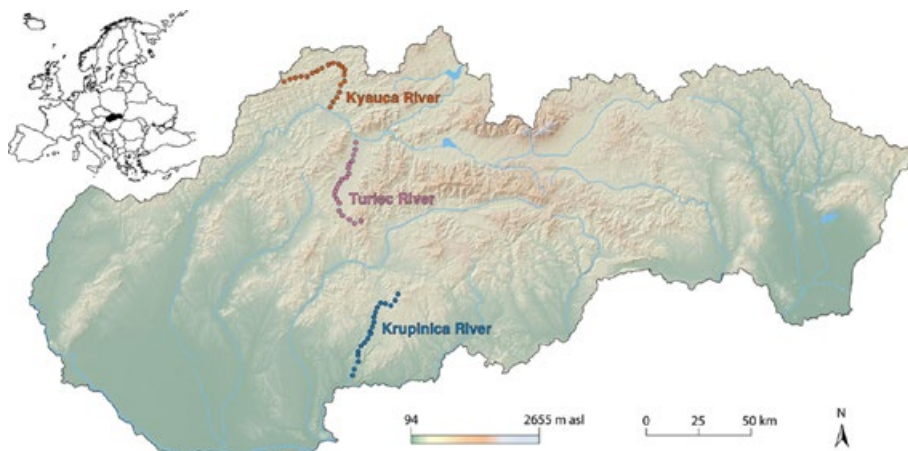
Výskum, ktorého cieľom bolo zistiť, ako sa menia zásoby pôdneho organického uhlíka a aká je odozva pôdných mikroorganizmov na rôzny manažment pôd a či je „pattern“ tejto odozvy rovnaký alebo naopak rozdielny na rôznych pôdných typoch (černozemi, kambizemi, pseudogleji) iniciovala doc. RNDr. Gabriela Barančíková, CSc. z VÚPOP v Prešove. Spolu s týmto pracoviskom ako i s pracoviskom SPU v Nitre (prof. Ing. Erika Balontayová) sme v pravidelných intervaloch zisťovali a analyzovali zmeny pôdných vlastností pri každom pôdnom type na pôde s lesným porastom, trvalým trávnyim porastom (lúke) a na ornej pôde. Išlo o lokality Močenok (západné Slovensko), Tŕnie (stredné Slovensko) a Hanušovce nad Topľou (východné Slovensko).

Prírodné vs obhospodarované lesy

Rozsiahla časť výskumu v posledných rokoch sa týka aj porovnania akumulácie pôdneho C a diverzity pôdných mikroorganizmov v prírodných a obhospodarovávaných lesných ekosystémoch. V hospodárskych lesoch je štruktúra porastov odlišná od štruktúry prírodných lesov a je významnou mierou ovplyvňovaná pestovnými a ťažobnými zásahmi. Vo väčšine prípadov ide o porasty rovnoveké, často tvorené len jedným druhom dreveniny. Výskum je orientovaný na porovnanie dvojíc plôch prírodný (resp. les s prírodou blízkym obhospodarováním) vs hospodársky les v rôznych oblastiach Slovenska (oblasť Polonín, Poľana, Kremnické vrchy, Záhorie, a ďalšie).

Vplyv invázných rastlín na pôdne vlastnosti

Invázne druhy vrátane rastlín predstavujú hrozbu pre zachovanie biologických systémov. Ekosystémy pozdĺž riečnych koridorov sú zraniteľné voči inváznym rastlinám, keďže vodný tok uľahčuje šírenie invázných druhov rastlín, ktoré môžu následne ovplyvniť priebeh rôznych procesov a funkcií ekosystému, vrátane tých, ktoré súvisia s pôdnym prostredím. V spolupráci s pracoviskom Centra biológie rastlín a biodiverzity SAV pod vedením Ing. Richarda Hrivnáka, DrSc. sme sa zamerali aj na výskum zmien funkčnej diverzity spoločenstiev pôdných mikroorganizmov pozdĺž troch pramenných tokov v Západných Karpatoch (Kysuca, Turiec, Krupinica, Obr. 7) a ich súvislosti s výskytom nepôvodných a invázných rastlín.



Obrázok 7 Poloha odberných miest pozdĺž troch riek (Krupinica, Turiec a Kysuca) (Ecol Indic 2024,169, 112859)

PERSPEKTÍVY VÝSKUMU

Lesné pôdy zohrávajú významnú úlohu v spojitosti s kolobehom živín, sekvestráciou uhlíka a akumuláciou vody. Avšak antropogénne vplyvy, vrátane klimatickej zmeny a zmien vo využívaní pôdy, menia vlastnosti pôdy rýchlym tempom. Výskum v nasledujúcich rokoch musí byť zameraný preto na ochranu lesných pôd a ekosystémov tak, aby bolo zabezpečené plnenie ich funkcií a ekosystémových služieb.

Jedným z kľúčových smerov výskumu by mal byť orientovaný na odozvu pôdy na klimatickú zmenu, čo už teraz je predmetom výskumu na väčšine výskumných inštitúcií doma i v zahraničí. S rastúcimi teplotami vzduchu a zmenenými úhrnmi zrážok, i ich zmenami v prerozdelení v rámci roka sa výskum musí zamerať na zachovanie, príp. zvýšenie stability pôdnej organickej hmoty a zníženie emisie skleníkových plynov. Zároveň je potrebné identifikovať, optimalizovať a testovať také postupy pri obhospodarovaní lesa a pôd, ktoré budú zamerané na zmierňovanie dopadov zmeny klímy na pôdne funkcie a poskytovanie ekosystémových služieb. Napr. máme relatívne dostatok informácií o porastoch s dominanciou jednej dreviny, chýbajú nám však informácie o pôdach v porastoch zmiešaných s rôznym zastúpením jednotlivých drevín, ktoré sa zdajú byť v súčasných podmienkach stabilnejšie.

Budúci výskum by mal klásť dôraz aj na pôdne mikrobiálne spoločenstvo, a v súvislosti s ním napr. na metagenomiku a funkčnú ekológiu s cieľom lepšie pochopiť,

ako strata biodiverzity ovplyvňuje pôdne procesy v meniacich sa environmentálnych podmienkach. Na úspešné predpovedanie interakcií medzi klímou – vegetáciou – pôdou a pôdnou biotou je nevyhnutné ich dlhodobé monitorovanie s využitím najnovších technológií, vrátane diaľkového prieskumu Zeme, umelej inteligencie a sietí senzorov *in situ*, ktoré zvýšia presnosť a priestorové rozlíšenie údajov o pôde. Ako nevyhnutné sa ukazuje prejsť od generalizovaných modelov vývoja zmien pôdných vlastností na precízne modelovanie so zohľadnením práve špecifik lesných pôd, ich priestorovej a časovej variability, vlastností pokrývkového humusu a biologických charakteristík pôdy.

Budúci výskum lesných pôd si nevyhnutne vyžaduje spoluprácu nielen špecialistov v oblasti pôd, ale aj špecialistov v iných oblastiach, vrátane odborníkov na moderné technológie. Len vtedy, ak sa nám podarí dôkladnejšie porozumieť pôdnym procesom a ich odozve na zmeny environmentálnych podmienok prostredia, môžeme vyvinúť stratégie na ochranu a obnovu lesných ekosystémov pre budúce generácie.

POĎAKOVANIE

Táto práca vznikla vďaka podpore pri riešení projektov APVV-19-0142, APVV-19-0319, APVV-19-0134 a APVV-19-0183.

LITERATÚRA

- Ammer, Ch., Fichtner, A., Fischer, A., Gossner, M.M., Meyer, P. *et al.* (2018). Key ecological research questions for Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, vol. 32: 3–25.
- Bobiec, A. (1998). The mosaic diversity of field layer vegetation in the natural and exploited forests of Białowieża. *Plant Ecology*, vol. 136: 175–187.
- Bublinec, E., Pichler, V. (2001). *Slovenské pralesy, diverzita a ochrana*. Vydal ÚEL SAV, Zvolen.
- Ferris-Kaan, R., Peace, A.J., Humphrey J.W. (1998). Assessing structural diversity in managed forests. *Forest Science*, vol. 51: 331–342.
- Hevia, A., Sanchez-Salguero, R., Camarero, J.J., Querejeta J.I., Gazol, A. (2019). Long-term imbalances linked to drought-triggered forest dieback. *Science of Total Environment*, vol. 69010: 1254–1267.
- Hlásny, T., Kulla, L., Bucha, T., Konôpka, J. (2009). *Súčasný stav a prognózy vývoja hynutia smrečín na Slovensku*. Vydalo NLC Zvolen, 14 pp.
- Korpeľ, Š. (1995). *Die Urwalder der Westkarpaten*. Vydavateľstvo Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Mezei, P., Jakuš, R., Pennerstorfer, J., Havašová, M., Škvarenina, J., Ferencík, J., Nethe-
rer, S. (2017). Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus* – An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 242: 85–95.
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Rammer, W., Verkerk, P.J. (2014). Increasing forest distur-

- bances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change*, vol. 4, 806.
- Sobocká, J., Šarapatka, B. *et al.* (2018). *100 rokov spoločnej histórie českej a slovenskej pedológie*. Vydalo NPPC – VÚPOP Bratislava. ISBN 978-80-8163-026-2.
- Stockmann, V. (2016). *Dejiny lesníctva na Slovensku*. Vydali Lesy Slovenskej republiky, Banská Bystrica, DOI: 10.14712/2464689X.2019.20.
- Sullivan, T.P., Sullivan, D.S., Lindgren, P. (2009). Stand structure and the abundance and diversity of plants and small mammals in natural and intensively managed forests. *Forest Ecology and Management*, vol. 258: 127–141.
- Yuhe, J., Guangsheng, Z., Zongshan, L., Shudong, W., Xingyang, S. (2020). Triggers of widespread dieback and mortality of poplar (*Populus* spp.) plantations across northern China. *Journal of Arid Environments*, vol. 174: Article 104076.

POROVNANIE MONITORINGU PÔDNEHO ORGANICKÉHO UHLÍKA (POC) V KRAJINÁCH EURÓPY A VYUŽITIE VÝSLEDKOV MONITORINGU POC NA SLOVENSKU

Comparison of soil organic carbon (SOC) monitoring in European countries and utilization of SOC results in Slovakia

Gabriela Barančíková¹, Jarmila Makovníková²

*¹Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav
pôdoznalectva a ochrany pôdy, RP Prešov, Raymanova 1, 080 01 Prešov*

*²Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav
pôdoznalectva a ochrany pôdy, RP Banská Bystrica, Mládežnícka 36,
974 04 Banská Bystrica,*

Korešpondujúci autor:

doc. RNDr. Gabriela Barančíková, CSc., e-mail: gabriela.barancikova@nppc.sk

Abstrakt

Pôdny organický uhlík (POC) je jedným z kľúčových indikátorov zdravia pôdy v zozname indikátorov Smernice o monitorovaní a odolnosti pôdy, ktorú v súčasnosti prerokúva Európsky parlament. 96 % krajín Európy monitoruje koncentráciu POC, ale jednotlivé monitorovacie systémy sú značne rozdielne, preto je potrebná harmonizácia monitoringu POC v krajinách Európske únie. V tomto článku uvádzame rozdielne a zhodné charakteristiky 5 vybraných monitorovacích systémov Európskych krajín (Holandsko, Švédsko, Estónsko, Slovensko a Švajčiarsko) a využívanie výsledkov monitoringu POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Na základe analýzy boli medzi jednotlivými monitorovacími systémami zistené výrazne rozdiely v odbere pôdných vzoriek. V analytickom stanovení POC bola konštatovaná väčšia zhoda, nakoľko vo všetkých vybraných krajinách, okrem Švajčiarska, sa koncentrácia POC stanovuje suchou cestou na elementárnom analyzátore. Na Slovensku sa výsledky monitoringu POC hodnotia pravidelne po každom 5-ročnom monitorovacom cykle a aktuálne hodnoty obsahu POC sú každoročne poskytované Agentúre životného prostredia do Správy o stave životného prostredia na Slovensku a sú pravidelne publikované vo vedeckých článkoch a prezentované na medzinárodných konferenciách. Hodnoty POC zák-

ladnej monitorovacej siete ČMS–P sa využili pri validácii modelu RothC, ktorý sa na Slovensku používa pri predikcii zmien v zásobách POC, pri tvorbe homogénnych priestorových jednotiek zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska, ako aj pri modelovaní a hodnotení ekosystémových služieb.

Kľúčové slová: pôdny organický uhlík, monitoring, modelovanie, ekosystémové služby pôdy

Abstract

Soil organic carbon (SOC) is key indicator of soil health, and it is on the list of the Directive on soil monitoring and resilience, which is currently being discussed by the European Parliament. 96% of European countries monitor SOC concentration, but individual monitoring systems are quite different therefore, harmonization of SOC monitoring in the European countries is necessary. In this article different and identical characteristics of 5 selected monitoring systems of European countries (Niederland, Sweden, Estonia, Slovakia, Switzerland) and usage of SOC monitoring results of agricultural Slovak soils are presented. Among individual monitoring systems significant differences in soil sampling were found. In analytical determination of SOC, the greater agreement was found, as in all selected countries, besides Switzerland, SOC concentration is determined by dry combustion on elemental analyser. In Slovakia, SOC monitoring results are regularly evaluated after every monitoring cycle. The current SOC results are provided annually to Agency of environment into Report about the state of the environment and published in scientific journals and presented on international conferences. SOC values of basic monitoring network of ČMS–P are used in validation of RothC model, which serves for prediction of SOC stock changes, in the creation of spatial homogeneous units of SOC stocks on agricultural soils of Slovakia, as well as in the modeling and assessment of ecosystem services.

Keywords: soil organic carbon, monitoring, modelling, soil ecosystem services

ÚVOD

Pôdny organický uhlík (POC) je hlavnou zložkou pôdnej organickej hmoty (POH), ktorá ovplyvňuje všetky fyzikálne, chemické a biologické pôdne procesy. POH zlepšuje infiltráciu a uchovávanie vody v pôde (Campbel & Paustian 2015), vytváraním stabilných pôdnych agregátov podporuje štruktúru pôdy, zadržiava živiny v pôde (Jones *et al.* 2005), vyrovnáva pH pôdneho prostredia a ovplyvňuje detoxifikáciu pôdnych kontaminantov (Tobiašová & Barančíková 2023). Významnú úlohu zohráva pri regulácii ekosystémových služieb (Kopitke *et al.* 2022), pri regulácii klímy a pri zmierňovaní globálneho otepľovania (Bensalma *et al.* 2024).

Z uvedeného dôvodu je POH kľúčový komponent pôdnej úrodnosti (Srivasta *et al.* 2016) ako aj zdravia a kvality pôdy (Lal 2016).

V rámci poľnohospodárskej politiky je jednou z hlavných úloh Európskej Únie (EÚ) zachovanie a postupné zvyšovanie POC v pôdach Európy, ktoré bolo formulované v rôznych európskych stratégiách ako je Farm2Fork Strategy (Stratégia týkajúca sa zdravých potravín), EU Climate Adaptation Strategy (Stratégia Európskej únie pre prispôsobenie sa zmene klímy), EU Pollution Action Plan (Opatrenie týkajúce sa znečistenia), EU Biodiversity Strategy (Stratégia o biodiverzite) a nová stratégia EÚ pre pôdu. Všetky uvedené stratégie určujú cesty k dosiahnutiu cieľov, ktoré sú stanovené v Zelenej Dohode (Európska Zelená Dohoda 2019). Členské štáty sa v nej zaviazali dosiahnuť klimatickú neutralitu do roku 2050 a do roku 2035 znížiť čisté emisie skleníkových plynov aspoň o 55%. Kľúčové indikátory kvality pôdy, medzi ktoré patrí aj POC, budú monitorované členskými štátmi EÚ na hodnotenie skutočného dopadu vyššie uvedených stratégií. Harmonizácia monitorovacích programov (sledovanie rovnakých ukazovateľov porovnateľným spôsobom) je nevyhnutná pre kvantitatívne hodnotenie zásob POC a zdravia pôdy na Európskej úrovni (Meuer *et al.* 2024). Napriek rôznym iniciatívam o harmonizáciu monitorovania POC (IPCC 2019, Smith *et al.* 2019, Maréchal *et al.* 2023, Montanarella & Panagos 2021) členské štáty EU majú tendenciu držať sa svojich konkrétnych metód z dôvodu kontinuity údajov v časovom rade (Bispo *et al.* 2019). Návrh Smernice o monitorovaní a odolnosti pôdy (EU Directive on Soil Monitoring and Resilience 2023), ktorý je v súčasnosti na rokovaní Európskeho parlamentu a Európskej komisie a Rady EÚ, zdôrazňuje potrebu dlhodobého monitorovania POC.

V rámci Európskeho spoločného programu (EJP) SOIL (www.ejpsoil.eu) bol zrealizovaný súpis monitorovacích stratégií POC v dvoch po sebe nasledujúcich úlohách. Prvou úlohou bola inventarizácia údajov o pôde a hospodárení na pôde, pričom sa syntetizovali indikátory na kvantifikáciu postupov hospodárenia na poľnohospodárskej pôde ovplyvňujúcich zdravie pôdy v rámci EÚ. Druhá úloha sa realizovala v rámci projektu SIREN (Inventarizácia indikátorov kvality poľnohospodárskej pôdy a ekosystémových služieb a ich referenčných hodnôt), ktorá bola zameraná na vytvorenie zoznamu európskych hodnotiacich rámcov pre ekosystémové služby a ich využitie pre hodnotenie zdravia pôdy. Pri hodnotení ekosystémových služieb a implementácii hodnotiacich kritérií pre indikátory zdravia pôdy v monitorovacích schémach konzorcium SIREN zozbieralo od partnerov programu EJP SOIL údaje o pôde, vrátane POC (Faber *et al.* 2022). Na ilustráciu možností a obmedzení harmonizácie a štandardizácie rozdielnych monitorovacích programov v Európskych krajinách bolo vybraných päť stratégií monitorovania POC na základe troch kritérií. Prvým kritériom bol detailná

charakteristika národného monitorovacieho programu POC. Ďalším kritériom bola realizácia aspoň dvoch monitorovacích cyklov a posledným kritériom bolo široké geografické rozpätie v rámci Európy. Na základe týchto kritérií boli vybrané monitorovacie systémy Holandska, ktoré reprezentuje západnú Európu, Švédska a Estónska, ktoré reprezentujú severnú Európu a Slovenska a Švajčiarska, ktoré reprezentujú strednú Európu. Podrobný popis a hodnotenie jednotlivých monitorovacích systémov je uvedený v publikácii Meuer *et al.* (2024), súčasťou autorského kolektívu boli aj autorky tohto príspevku.

V prvej časti príspevku uvedieme hlavné rozdielne a zhodné charakteristiky medzi porovnanými monitorovacími systémami POC Európy, s dôrazom na monitoring POC na Slovensku, a v druhej časti sa budeme venovať využitiu výsledkov monitoringu POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

1. Porovnanie národných monitorovacích programov POC v krajinách Európy

Ako uvádza Pavlů (Pavlů *et al.* 2021) 96% krajín Európy monitoruje koncentráciu POC v časovom rade. Spoločnou črtou väčšiny monitorovacích programov POC je sledovanie zmien v obsahu POC.

Vo všetkých porovnávaných krajinách (Holandsko, Švédsko, Estónsko, Slovensko a Švajčiarsko) je monitoring POC súčasťou pôdných monitorovacích systémov, ktoré sú financované Ministerstvom životného prostredia, resp. poľnohospodárstva, alebo štátnou organizáciou, najčastejšie Agentúrou na ochranu životného prostredia (Tab. 1). Na Slovensku je Čiastkový monitorovací systém – Pôda (ČMS–P) súčasťou Monitoringu životného prostredia a je každoročne financovaný Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka. S monitoringom pôd začali najskôr v Estónsku (1983), ale tento monitoring bol v roku 1992 zastavený a s pravidelným odberom pôdných vzoriek sa opätovne začalo v roku 2002. Na Slovensku, Estónsku a Švajčiarsku je monitorovací cyklus 5 rokov, vo Švédsku 10 rokov a v Holandsku zatiaľ prebehli iba dva monitorovacie cykly, pričom ďalšie sú naplánované na roky 2024 a 2030.

Vo všeobecnosti sa zmeny v obsahu POC dajú posúdiť po 10 rokoch (Smith 2004, Schrumpf *et al.* 2011), ale po niektorých zásahoch do pôdy (rozoranie TTP, alebo zatrávenie OP) zmena v obsahu POC môže byť identifikovateľná už v kratšom časovom období (Barančíková *et al.* 2016). IPPC (2019) vo svojej metodike uvádza časové obdobie 20 rokov, aby sa pôda z hľadiska POC dostala do rovnovážneho stavu.

Vo všetkých porovnávaných krajinách sú odberové miesta presne zamerané (GPS), ale v protokoloch odberu pôdných vzoriek (počet odberových miest, plocha a hĺbka odberu vzoriek) medzi jednotlivými krajinami existujú výrazné rozdiely. Počet odberových miest súvisí s rozlohou krajiny a poľnohospodárskej pôdy, pričom najvyšší počet odberových miest je vo Švédsku a najmenší v Estónsku (Tab.1).

Tabuľka 1 Monitorovacie programy, zodpovedné inštitúcie a nastavenie monitorovania

Krajina	Monitorovací program	Financujúca inštitúcia	Začiatok monitoringu	Odberový cyklus (roky)	Zrealizované cykly
Holandsko	Holandský program odberu pôdných vzoriek	Ministerstvo infraštruktúry a životného prostredia	1998 ^a	nekonzistentný	2
Švédsko	Švédsky program monitorovania pôdy a plodín	Švédska agentúra životného prostredia	1988 ^b	10	3
Estónsko	Monitoring poľnohospodárskej pôdy	Estónska agentúra životného prostredia v spolupráci s Centrom výskumu a vedomostí vidieka	1983 ^c	5	8
Slovensko	Čiastkový monitorovací systém – Pôda	Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka	1993	5	7
Švajčiarsko	Švajčiarska sieť pôdneho monitoringu	Švajčiarsky federálny úrad pre poľnohospodárstvo v spolupráci so Švajčiarskym federálnym úradom pre životné prostredie	1985	5	8
^a odbery v roku 1998 a 2018, naplánované v roku 2024, 2030					
^b tri cykly: 1988 – 1997, 2001 – 2007, 2010 – 2017					
^c 1983 – 1992, revitalizovaný v roku 2002					

Na Slovensku je v rámci základnej monitorovacej siete 314 lokalít, ale ČMS–P disponuje aj súborom 16 kľúčových lokalít, na ktorých sa koncentrácia POC, ale aj kvalita POH, stanovuje každoročne (Kobza *et al.* 2024). Od roku 2008 sa v rámci ČMS–P stanovuje koncentrácia POC na 8 vybraných rašeliniskách, na ktorých je odberový cyklus 10 rokov (Barančíková *et al.* 2018, Kobza *et al.* 2024).

V Holandsku, Švédsku, Slovensku a Švajčiarsku sú monitorovacie lokality kruhového tvaru rôznej veľkosti, v Estónsku je to obdĺžniková plocha s rozmermi 60×180 m. Najmenšia monitorovacia plocha je v Holandsku a najväčšia v Estónsku. Vo Švédsku a Švajčiarsku je hĺbka odberu 0 – 0,20 m, ale vo Švédsku sa pôdna vzorka odoberá aj z hĺbky 0,20 – 0,40 m. V Holandsku sa v prvom odberovom cykle odoberali pôdne vzorky zo všetkých horizontov, v druhom monitorovacom cykle to bolo z hĺbky 0 – 0,30 m a 0,30 – 1,00 m. V Estónsku sa pôdne vzorky odoberajú z A horizontu a na Slovensku z hĺbky 0 – 0,10 a 0,35 – 0,45 m (Tab. 1). Štandardná hĺbka odberu pôdy pre IPCC (IPCC 2003) je 0 – 0,30 m a táto hĺbka sa uvádza v mnohých prácach pri výpočte zásob POC na európskej (Panagos *et al.* 2013, Lugato *et al.* 2014, Yigini *et al.* 2017) ale aj globálnej úrovni (FAO 2020, Peralta *et al.* 2022). Hĺbka odberu 0 – 0,30 m odráža požiadavky IPCC (Jones *et al.* 2021) týkajúcej sa zásoby POC a faktora zmeny zásoby POC (IPCC 2019). Princípy a základné stratégie a techniky odberu pôdnych vzoriek sú uvedené v normách ISO 23400 (ISO 2021) a ISO 10381 – 1 (ISO 2002). JRC (Spoločné výskumné centrum EÚ) vyvinulo jednoduchú, transparentnú a nákladovo efektívnu metódu na identifikáciu zmien POC v minerálnej pôde (Stolbovoy *et al.* 2007). FAO navrhlo schému, ktorá sa zameriava na predikciu POC vrátane intenzity odberu pôdnych vzoriek, hĺbky pôdy aj celkového počtu vzoriek pre danú lokalitu (FAO 2012).

Na rozdiel od výrazných rozdielov pri odbere pôdnych vzoriek, analytické stanovenie koncentrácie POC medzi jednotlivými krajinami je porovnateľné, pretože je v súlade s normami ISO resp. ES. V súčasnosti všetky krajiny stanovujú koncentráciu POC, ale v Holandsku sa stanovuje aj POH a vo Švajčiarsku a Slovensku sa na prepočet medzi koncentráciou POC a POH používa faktor 1,725 (Tab. 2).

Tabuľka 2 Parametre týkajúce sa POC stanovené v rôznych monitorovacích programoch a použité analytické metódy

Krajina	Parameter	Metóda stanovenia
Holandsko	koncentrácia POC (%) koncentrácia POH (%)	1998: namerané, 2018: suché spaľovanie 1998, 2018: strata žíhaním
Švédsko	koncentrácia POC (%)	suché spaľovanie ISO 10694 1988 – 1995: CHN analyzátor LECO 700 2001, 2003: CHN analyzátor LECO 600 2005, 2007: CN analyzátor LECO 2010 – 2017: CN analyzátor LECO Trumac
Estónsko	koncentrácia POC (%) koncentrácia POH (%)	od roku 2007: suché spaľovanie na elementárnom analyzátore (ISO10694) 1983 – 1992, 2002 – 2018: GOCT 26123

Krajina	Parameter	Metóda stanovenia
Slovensko	koncentrácia POC (%) zásoba POC (kg/ha) Kvalita POH (C_{HA}/C_{FA} , Q_6^4)	1993 – 2007: Walkey & Black, od roku 2008: suché spaľovanie frakcionácia humusu podľa Kononovovej a Beľčikovej
Švajčiarsko	koncentrácia POC (%) humus	Swiss Reference method (FAL 1996) SOC * 1.725

Na Slovensku sa okrem koncentrácie POC stanovujú aj kvalitatívne parametre humusu (C_{HK}/C_{FK} , 4Q_6) podľa Kononovovej & Beľčikovej (Kononovova 1963). Navyše sa na 7 vybraných kľúčových lokalitách v 5-ročných monitorovacích cykloch stanovujú vybrané parametre chemickej štruktúry humínových kyselín (Kobza *et al.* 2024).

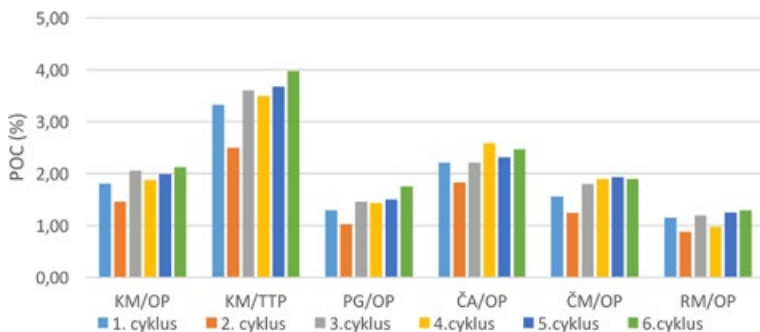
Okrem Švajčiarska, kde sa koncentrácia POC stanovuje tzv. mokrou cestou podľa Walkey a Blacka (Walkey & Black 1934), sa vo všetkých porovnávaných krajinách stanovuje koncentrácia POC tzv. suchou cestou (ISO 1995) na elementárnom analyzátoe rôznej konfigurácie (Tab. 2). Na Slovensku sa do roku 2007 stanovovala koncentrácia POC podľa Ťurina v modifikácii Nikitina (Kobza *et al.* 2011). Princíp stanovenia tejto metódy je identický s metódou Walkey & Blacka.

Hlavný rozdiel medzi mokrou a suchou cestou stanovenia koncentrácie POC spočíva v tom, že pri mokrej ceste sa vzorka oxiduje chromsírovou zmesou a pri suchej ceste sa pôdna vzorka zohrieva pri 1000° C. Pri oboch metódach sa vznikajúci CO₂ kvantitatívne stanoví gravimetricky, titračne, volumetricky, spektrofotometricky alebo technikou plynovej chromatografie (Nelson & Sommers 1996). Stanovenie koncentrácie POC mokrou cestou, predovšetkým pri pôdach s vyšším obsahom POC, nesie so sebou riziko podhodnotenia reálneho obsahu POC. Podľa Sleutela (Sleutel *et al.* 2007) metóda stanovenia koncentrácie POC podľa Walkey & Blacka v regionálnom meradle a naprieč rôznymi klimaticko-pôdnymi podmienkami predpokladá iba 75% účinnosť. Podobne aj Barančíková & Makovníková (2015) pri porovnaní súboru pôdných vzoriek so širokým rozsahom obsahu POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska zistili, že do koncentrácie 3% POC výsledky suchej aj mokrej cesty stanovenia POC sú identické, ale pri vyšších koncentráciách hodnoty POC stanovené mokrou cestou sú nižšie ako suchou cestou. Preto je potrebné pri porovnávaní údajov koncentrácie POC medzi jednotlivými monitorovacími cyklami vyšších ako 3% potrebné použiť pedotransferovú funkciu (Barančíková & Makovníková 2015). Táto skutočnosť bola potvrdená vo viacerých prácach, napr. Meersmanom (Meersman *et al.* 2009) pre pôdy Belgicka. Viacerí autori zdôrazňujú dôležitosť pedoklimatických podmienok a využívania

pôdy pri korekcii Walkey & Blackovej metódy a to v dôsledku neúplnej oxidácie POC. Pre rozdielne regióny a rozdielne spôsoby využitia pôdy boli pre Walkey & Blackovú metódu navrhnuté rozdielne korekčné faktory (Mikhailova *et al.* 2003, Santi *et al.* 2006, Sleutel *et al.* 2007).

2. Využitie údajov monitoringu POC na Slovensku

Na Slovensku sú všetky monitorovacie lokality ČMS–P rozdelené do 20 pôdnych skupín podľa pôdneho typu, subtypu a využitia pôdy. Po každom monitorovacom cykle je vydaná monografia, v ktorej je každý parameter, sledovaný v rámci ČMS–P, teda aj POC, podrobne hodnotený. Aktuálne výsledky POC zo 6 monitorovacieho cyklu základnej monitorovacej siete, kľúčových lokalít ako aj rašelinísk a ich časový vývoj sú uvedené v monografii: Monitoring pôd Slovenskej republiky (Kobza *et al.* 2024). Na Obr. 1 je uvedený vývoj koncentrácie POC v hĺbke 0–0,10 m na vybraných pôdnych typoch na orných pôdach (OP) Slovenska a trvalých trávnych porastoch (TTP). Na najrozšírenejšom pôdnom type (kambizemiach) je vývoj POC ilustrovaný na Obr. 1, kde je zrejmé, že priemerný obsah POC na TTP rovnakého pôdneho typu je výrazne vyšší ako na OP, čo je dôsledkom výrazne vyššieho zastúpenia koreňového systému a rozkladajúcich sa tráv na TTP.



Obrázok 1 Vývoj koncentrácie POC na vybraných pôdnych typoch na OP a TTP

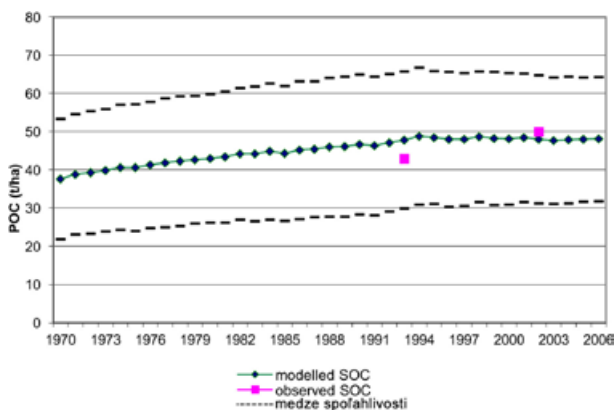
V rámci OP najvyšším obsahom POC disponujú čierne a najnižším regozeme. V priebehu sledovaného obdobia mali hodnoty POC kolísavý charakter, ale pri porovnaní prvého a zatiaľ posledného monitorovacieho cyklu je evidentný mier-ny nárast obsahu POC. V súčasnosti je obsah POC na väčšine pôdnych typov ustálený (Obr. 1) (Kobza *et al.* 2024).

Aktuálne hodnoty obsahu POC sú každoročne poskytované Agentúre životného prostredia do Správy o stave životného prostredia na Slovensku a sú pravidelne

publikované vo vedeckých článkoch (napr. Barančíková *et al.* 2016, Kobza *et al.* 2017) a prezentované na medzinárodných konferenciách (napr. Barančíková *et al.* 2022, 2023).

Monitoring umožňuje sledovať vývoj zásob POC v minulosti, ale pri jeho predikcii do budúcnosti je potrebné použiť matematické modely.

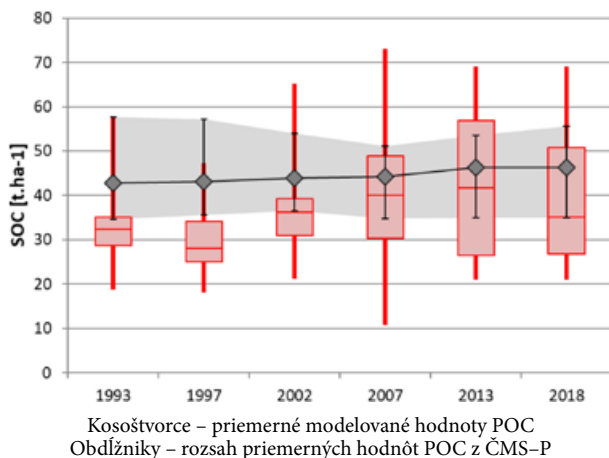
Ako bolo v úvode spomenuté, dynamika zásob POC je dôležitým indikátorom stavu kvality pôdy z pohľadu návrhov a realizácie adaptačných opatrení a opatrení na zmierňovanie dopadov meniacej sa klímy. Stanovenie relatívne nepatrných zmien v zásobách POC v čase umožňuje využitie procesných modelov dynamiky POC. Jedným z najviac využívaných modelov je RothC model (Coleman & Jenkinson 2005), ktorý sa na Slovensku úspešne využíva viac ako 15 rokov a výsledky modelovania boli prezentované vo viacerých publikáciách (napr. Barančíková *et al.* 2010, Barančíková *et al.* 2012, Barančíková *et al.* 2013, Barančíková *et al.* 2014, Barančíková *et al.* 2018, Skalský *et al.* 2020, Barančíková *et al.* 2024). Aby bolo možné využiť RothC model na poľnohospodárskych pôdach Slovenska, bola potrebná jeho validácia. Pri modelovaní zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska boli na validáciu modelu RothC použité namerané údaje zásob POC z 32 vybraných lokalít základnej siete ČMS–P z odberu v roku 1993 sa 2002 (Barančíková *et al.* 2010). Vybrané lokality pokrývali všetky pôdne typy a agroklimatické podmienky Slovenska.



Obrázok 2 Namerané a modelované údaje zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska

Na Obr. 2 je vidieť dobrú zhodu medzi nameranými a modelovanými hodnotami POC, ktorá bola potvrdená aj na základe štatistických hodnôt t-testu aj Wilcoxonovho Z-kritéria nakoľko rozdiely medzi modelovanými hodnotami POC a hodnotami POC nameranými v roku 1993 a 2002 neboli štatisticky významné

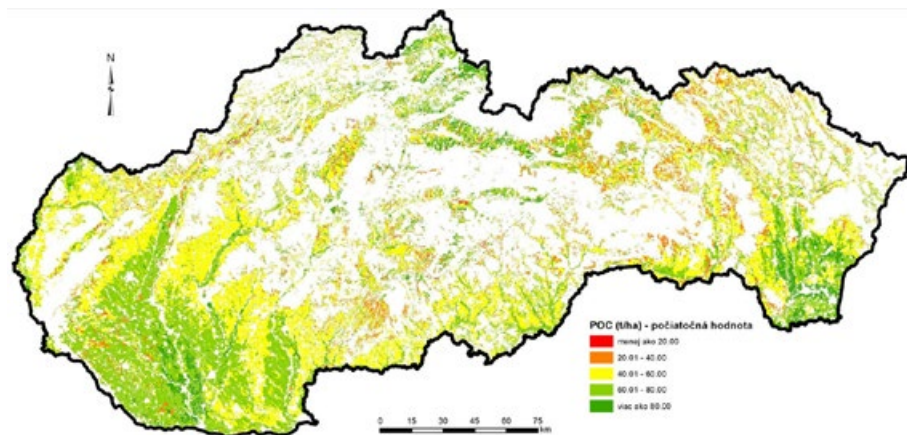
(Barančíková *et al.* 2010). Pri modelovaní zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska (Barančíková *et al.* 2010) neboli brané do úvahy zmeny v krajinnej pokrývke. V našej ďalšej práci v regióne Ondavská vrchovina, v ktorej sme zohľadnili zmeny v krajinnej pokrývke, sme na validáciu modelu RothC použili hodnoty zásob POC z 11 sond základnej siete ČMS-P z monitorovacích cykloch v rokoch 2002, 2007 a 2013. Ako je zrejmé z Obr. 3., namerané údaje zásob POC sa nachádzajú v medziach spoľahlivosti modelovaných hodnôt zásob POC (Skalský *et al.* 2020).



Obrázok 3 Namerané a modelované hodnoty zásob POC v regióne Ondavská vrchovina

V rámci riešenia projektu URANOS, bolo potrebné pripraviť databázu pôdných parametrov, ako vstupných údajov pre RothC model pre modelovanie zásob POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska (Koco *et al.* 2023). Vychádzali sme z databázy ČMS-P, v ktorej sa však nachádzajú iba hodnoty koncentrácie POC, v hĺbke 0–0,10 m, ale nie zásoby POC, ktoré vstupujú ako jeden zo vstupných parametrov do modelu RothC. V prvom rade bolo potrebné pomocou pedotransférových funkcií prepočítať koncentráciu POC na hĺbku 0–0,30 m a následne pomocou objemovej hmotnosti na zásoby POC v hĺbke 0–0,30 m. Stanovenie hodnoty zásob POC v jednotlivých lokalitách v kombinácii s priestorovými a ďalšími pedologickými parametrami umožnilo určiť zásadné faktory (hybné sily) ovplyvňujúce stav zásob POC na území Slovenska. Na základe štatistickej analýzy bolo zistené, že nadmorská výška, zrnitostné zloženie pôdy, pôdny typ a využitie pôdy (OP, TTP) štatisticky významným spôsobom ovplyvňujú zásoby POC na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. V nadväznosti na to sa priemerné hodnoty

zásob POC viažuce k jednotlivým hybným silám priradili ako iniciálne hodnoty pre modelovanie vývoja zásob POC k priestorovým simulačným jednotkám v podobe gridových štvorcov o veľkosti 100×100 m. Tieto boli agregované na základe delimitačných kritérií vychádzajúcich z týchto hybných síl (Obr. 4) (Skalský *et al.* 2024).

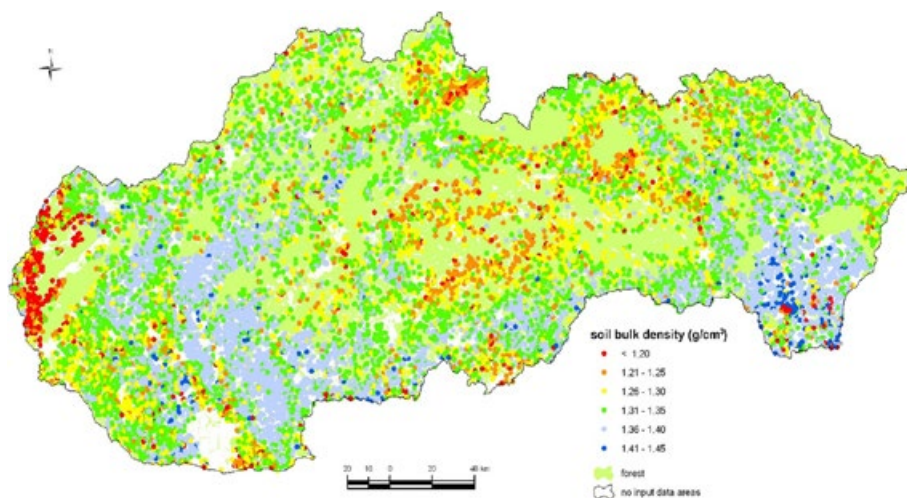


Obrázok 4 *Iniciálna zásoba POC, vypočítaná na základe údajov ČMS-P 2002, pre potreby modelovania modelom RothC*

Hodnoty POC našli využitie aj pri modelovaní odhadu objemovej hmotnosti. Objemová hmotnosť pôdy vstupuje ako parameter do mnohých matematicko-fyzikálnych vzťahov (stanovenie pórovitosti pôdy, objemovej vlhkosti pôdy, zásob pôdnej vody, prístupných živín v pôde a pod.), od ktorých sa odvíjajú viaceré rozhodnutia v manažmente pôdy. Stanovenie objemovej hmotnosti pôdy nie je technicky náročné, napriek tomu tvoria údaje o objemovej hmotnosti v monitorovacích databázach len veľmi malé percento z celkového počtu archivovaných údajov. Databázy však obsahujú údaje o tých vlastnostiach pôdy, pomocou ktorých, je možné modelovať rovnovážnu hodnotu objemovej hmotnosti pôdy (Makovníková & Širáň 2011). Pri hľadaní pedotransférových rovníc, ktoré je možné využiť pre modelovanie rovnovážnej objemovej hmotnosti pre pôdny pokryv SR, sme vychádzali z dostupných údajov o pôde v databáze ČMS-P a to zrnitostného zloženia pôdy a POC. Pre rovnovážnu hodnotu objemovej hmotnosti pôdy bola vytvorená pedotransférová rovnica v tvare:

$$\text{BDPTF2} = 2.66199 - 0.00760175 \cdot \text{ILc} - 0.0102453 \cdot \text{P} - 0.010797 \cdot \text{S} - 0.0855301 \cdot \text{POC}$$

Priestorové rozloženie rovnovážnej hodnoty objemovej hmotnosti pôdy vypočítané na základe údajov ČMS-P je na Obr. 5.



Obrázok 5 Rovnovážna hodnota objemovej hmotnosti pôdy vypočítaná na základe údajov ČMS-P

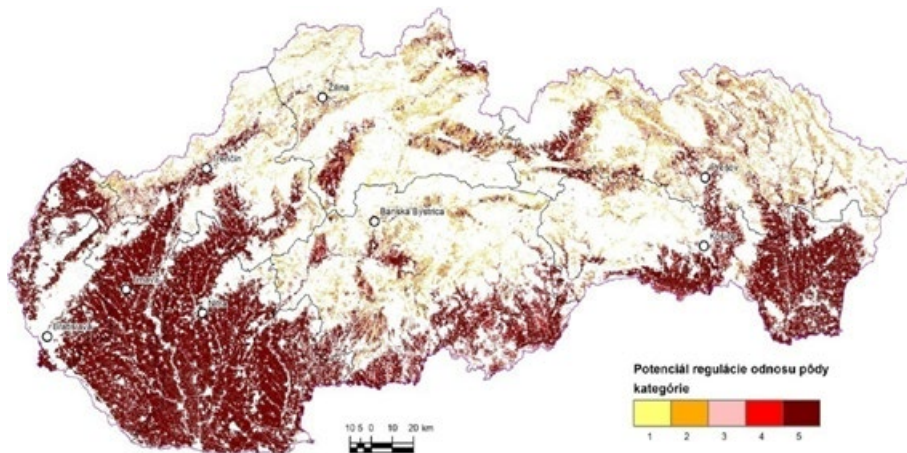
Štatistické výsledky ukazujú, že model objemovej hmotnosti, do ktorého vstupuje aj obsah organického uhlíka (POC), poskytuje presnejšie výsledky (Makovníková, Širán, Houšková 2017)

Hodnoty POC monitorované v rámci ČMS-P boli použité v projekte APVV zameranom na modelovanie a hodnotenie ekosystémových služieb (Makovníková *et al.* 2017). Ekosystémové služby, označované ako prírodný kapitál, sú závislé najmä od kvality a kvantity prírodných zdrojov (ako sú pôda, vzduch, voda) a biodiverzity (Mederly *et al.* 2019). Pri priestorovej kvantifikácii agroekosystémových služieb pre poľnohospodársky využívané pôdy Slovenska sme prepojili poznatky vedy s manažmentom využívania prírodných zdrojov.

Pre potreby analýzy a hodnotenia potenciálu agroekosystémových služieb na národnej úrovni sme vytvorili mapovacie jednotky skombinovaním štyroch vstupných vrstiev, a to sklonu reliéfu, klimatických jednotiek, zrnitostného zloženia pôdy a druhu pozemku. Výsledná vrstva je spracovaná pre celé územie Slovenskej republiky s využitím metód a nástrojov, ktoré ponúkajú geografické informačné systémy (GIS). Vrstva priestorových funkčných agregovaných jednotiek je zároveň kompatibilná s priestorovými jednotkami v medzinárodne používanej databáze (Corine Land Cover), keďže nesie informácie o využívaní pozemku. V rámci každej vytvorenej priestorovej jednotky sme vypočítali vážený priemer hodnôt potenciálu agroekosystémovej služby pre územie SR, ktorý je charakteristický pre danú priestorovú funkčnú agregovanú jednotku. Základnou priestorovou jednot-

kou pre reprezentáciu geografických údajov je pravidelná sieť s bunkou o veľkosti 100×100 m.

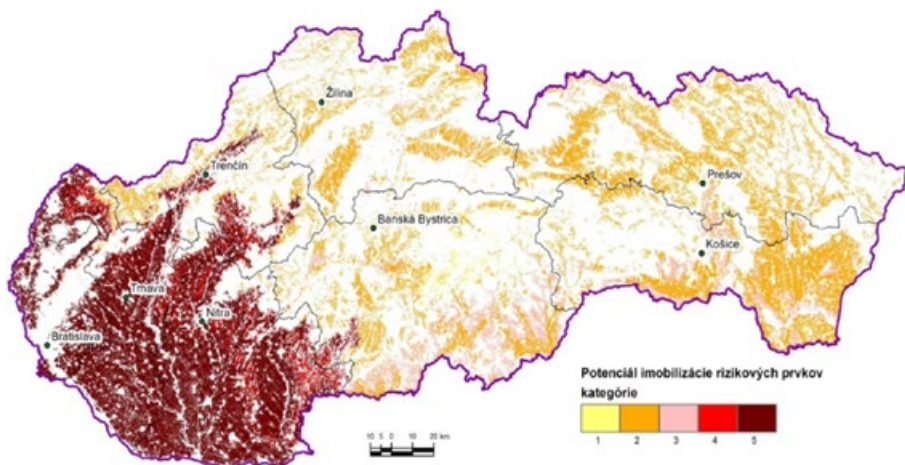
POC vstupuje ako jeden z parametrov do modelu ekosystémovej regulačnej služby, potenciálu regulácie odnosu pôdy, kde POC je súčasťou K faktora v rovnici USLE (K – faktor náchylnosti pôdy na vodnú eróziu. Potenciál odnosu pôdy je vyjadrený empirickým modelom univerzálnej rovnice straty pôdnej hmoty – USLE (Wischmeier & Smith 1978), ktorý spôsobuje vodná erózia (Styk & Pálka 2005).



Obrázok 6 Priestorová kvantifikácia potenciálu regulácie odnosu pôdy poľnohospodársky využívaných pôd

Ako je zrejmé z Obr. 6, agroekosystémy orných pôd majú vysoký až veľmi vysoký potenciál pre reguláciu odnosu pôdy, reguláciu vodnej erózie (takmer 92% z výmery poľnohospodársky využívaných orných pôd). Orné pôdy sa nachádzajú prevažne na rovinatejších pozemkoch, kde je menšie riziko vodnej erózie. Ďalším predpokladom vyššieho potenciálu regulácie vodnej erózie na orných pôdach je aj väčšie zastúpenie hlbokých pôd, a tým je aj vyšší limit pre prípustnú stratu pôdy.

Do modelovania potenciálu filtračnej ekosystémovej služby vstupujú indikátory pôdy, ktoré majú priamy dosah na plnenie filtračnej služby, a to indikátor potenciálu kontaminácie a indikátor potenciálu pôdnych sorbentov, ktorého súčasťou je POH, a to jej kvantitatívny (POC) aj kvalitatívny (Q^4_6) parameter. Vyššia hodnota pH, vyšší obsah POH v kontexte s jej kvalitou definovanou nízkou hodnotou Q^4_6 a väčšia hrúbka humusového horizontu zvyšujú potenciál imobilizácie anorganických polutantov v pôde. Priestorová kvantifikácia potenciálu čistenia pôdy, filtrácia rizikových prvkov je na Obr. 7.

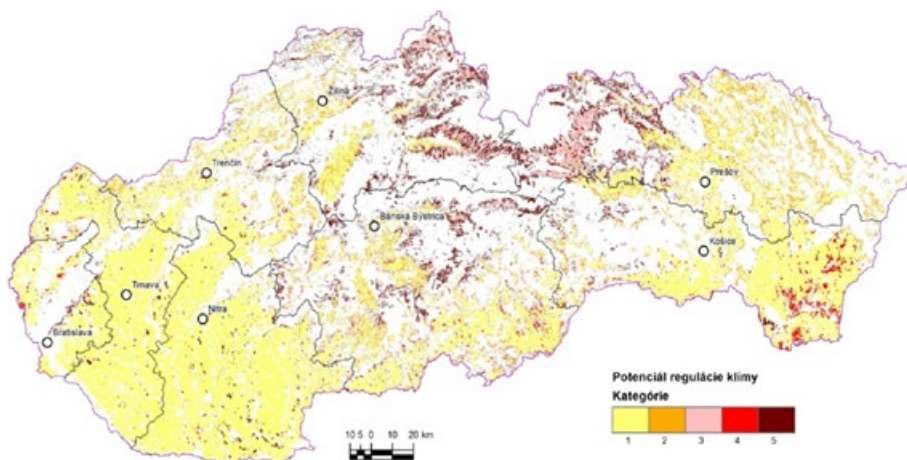


Obrázok 7 Priestorová kvantifikácia potenciálu čistenia pôdy – filtrácia rizikových prvkov

Veľmi vysoký potenciál čistenia pôdy má 41,67 % ekosystémov poľnohospodársky využívaných pôd Slovenska. Väčšinou ide o ekosystémy orných pôd s vysokým obsahom karbonátov, ktoré sú vyvinuté na spraši a lokalizované na Podunajskej a Východoslovenskej nížine bez antropogénnej a geochemickej depozície. Černozeme a hnedozeme, pôdy, ktorých hodnota pôdnej reakcie sa pohybuje v neutrálnej až slabo alkalickú oblasti (Makovníková & Barančíková 2009) s vysokým obsahom organickej hmoty v povrchovom horizonte, disponujú najvyšším potenciálom čistenia pôdy. Patria k pôdam s optimálnymi pôdnymi parametrami vzhľadom k filtračnej ekosystémovej službe.

Agroekosystémy orných pôd prispievajú aj k regulácii klímy sekvenciou organického uhlíka v pôde (Obr. 8). Nízky potenciál regulácie klímy, nízku priemernú zásobu POC majú agroekosystémy orných pôd, ktoré sa nachádzajú na nížinách. Vo vyšších polohách priemerná zásoba POC a tým aj potenciál regulácie klímy mierne stúpa. V nížinách do 300 m n. m. sa nachádzajú agroekosystémy na čierniciach a černozemiach, ktorých priemerná koncentrácia POC sa v tomto výškovom stupni pohybuje okolo 1,5 % a je o niečo nižšia ako v polohe 300 – 600 m n. m., kde prevládajú kambizeme, ktorých priemerné hodnoty POC na OP sa pohybujú v intervale 1,5 – 2,5 % (Barančíková *et al.* 2013).

Kategórie vysokého a veľmi vysokého potenciálu regulácie klímy sú lokalizované v oblastiach s chladnejšou klímou a vo vyšších nadmorských výškach, využívaných ako trávne porasty.



Obrázok 8 Priestorová kvantifikácia potenciálu regulácie klímy poľnohospodársky využívaných pôd

ZÁVER

Na hodnotenie skutočného dopadu stratégií Zelenej dohody budú musieť členské štáty EÚ monitorovať POC, nakoľko je to jeden z kľúčových indikátorov zdravia a kvality pôdy, nachádzajúci sa v návrhu Smernice o monitorovaní a odolnosti pôdy. Z uvedeného dôvodu je v rámci EÚ nevyhnutná harmonizácia jednotlivých monitorovacích systémov POC. Analýza aktuálneho stavu 5 vybraných monitorovacích systémov ukázala veľké rozdiely predovšetkým v stratégií odberu pôdnych vzoriek. Väčšia zhoda bola zistená v analytických metódach stanovenia POC. Slovensko má 30-ročnú históriu monitoringu pôd, v rámci ktorého sa pravidelne analyzujú a hodnotia kvantitatívne aj kvalitatívne parametre POH. Hodnoty POC, nachádzajúce sa v databáze ČMS-P, sú kľúčové pri validácii modelu RothC, ktorý sa na poľnohospodárskych pôdach Slovenska využíva pri predikcii vývoja zásob POC. POC je jedným z parametrov pedotransférovej funkcie odhadu objemovej hmotnosti pôdy a je tiež súčasťou hodnotiacich parametrov modelovania a hodnotenia ekosystémových služieb, predovšetkým regulácie odnosu pôdy, potenciálu filtrácie rizikových prvkov a potenciálu regulácie klímy poľnohospodársky využívaných pôd. Napriek tomu, že trendy budúceho vývoja pedologického výskumu sú v čoraz väčšom využívaní nástrojov diaľkového prieskumu Zeme, matematických modelov a umelej inteligencie, klasické monitorovacie systémy POC budú mať svoje nezastupiteľné miesto pri hodnotení zdravia a kvality pôdy aj v budúcnosti.

POĎAKOVANIE

Táto práca sa uskutočnila v rámci projektu „Smerom k inteligentnému a udržateľnému manažmentu poľnohospodárskych pôd v oblasti klímy“ (EJP-SOIL, grant agreement ID: 862695) financovaného z programu Európskej únie pre výskum a inovácie Horizont 2020.

LITERATÚRA

- Barančíková, G., Halas, J., Gutteková, M., Makovníková, J., Nováková, M., Skalský, R., Tarasovičová, Z. (2010). Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. *Soil and Water Research*, vol. 5(1): 19.
- Barančíková, G., Makovníková, J., Skalský, R., Tarasovičová, Z., Nováková, M., Halas, J., Koco, Š., Gutteková, M. (2013). Changes in organic carbon pool in agricultural soils and its different development in individual agro-climatic regions of Slovakia. *Agriculture*, vol. 59: 1–9.
- Barančíková, G., Skalský, R., Koco, Š., Halas, J., Tarasovičová, Z., Nováková, M. (2014). Farm-level modelling of soil organic carbon sequestration under climate and land use change. Halldórsson, G., Bampa, F., Porsteinsdóttir, A.B. (eds) *Soil carbon sequestration for climate food security and ecosystem services*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, s. 94–100.
- Barančíková, G., Makovníková, J. (2015). Comparison of two methods of soil organic carbon determination. *Polish Journal of Soil Science*, vol. XLVIII/I: 47–56.
- Barančíková, G., Makovníková, J., Halas, J. (2016). Effect of land use change on soil organic carbon. *Agriculture*, vol. 62: 10–18.
- Barančíková, G., Halas, J., Fazekašová, D., Litavec, T., Kobza, J. (2018). *Aktuálny stav vybraných rašelinísk Slovenska*. NPPC – VÚPOP, 107s., ISBN 978–80-8163–025-5.
- Barančíková, G., Gömöryová, E., Tobiašová, E., Makovníková, J., Koco, Š., Halas, J., Skalský, R., Tarasovičová, Z., Takáč, J. (2019). *Pôdny organický uhlík a jeho odozva na využívanie krajiny Slovenska*. NPPC – VÚPOP, Bratislava, 105 s., ISBN: 978-80-8163-029-3.
- Barančíková, G., Koco, Š., Makovníková, J., Skalský, R., Halas, J., Kobza, J. (2022). Topsoil organic carbon content in agricultural land of Slovakia. In: Smutný, V., Lukas, V. (eds.) *Trends and challenges in soil-crop management*. 2nd Central European ISTRO Conference (CESTRO) and 8th International Conference of the Czech ISTRO branch. September 6–8, 2022, Brno, Czech Republic. Book of Abstracts, s. 22, Mendel University in Brno, Czech Republic, ISBN 978-80-7509-847-4.
- Barančíková, G., Koco, Š., Makovníková, J., Halas, J., Skalský, R., Kobza, J. (2023). Development of soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. In: Šarapatka, B., Bednář, M., Netopil, P. (eds.). *Adaptation strategies for soil and water conservation in a changing world. Proceedings of the 5th WASWAC World Conference*. Palacký University Olomouc, s. 66–67. ISBN 978-80-244-6318-36
- Barančíková, G., Koco, Š., Halas, J., Takáč, J., Makovníková, J., Kizeková, M. (2024). Modelling of soil organic carbon dynamic on grassland under different management and climate scenarios. *Agriculture*, vol. 69(3!): 105–117.
- Benslama, A., Benbrahim, F., Navarro-Pedreno, J., Lucas Gómez, I., Jordán Vidal,

- M.M., Belén Almendro-Candel, M. (2024). Organic carbon management and relations with climate change. In: Núñez-delgado, A. (ed.) *Frontier Studies in Soil Science*, 283 s. ISBN 978-3-031-50502-7.
- Bispo, A., Arrouays, D., Saby, N., Boulonne, L., Fantappiè, M. (2021). Proposal of methodological development for the LUCAS program in accordance with national monitoring programs. EJP SOIL Deliverable 6.3, 135 s.
- Campbel, E.E., Paustian, K. (2015). Current developments in soil organic matter modelling and the expansion of model applications: a review. *Environmental Research Letters*, vol. 10, 123004.
- Coleman, K., Jenkinson, D.S. (2005). *RothC-26.3 A model for the turnover of carbon in soil*. Model description and windows users guide, November 1999 issue (modified April 2005), 45 s. Available http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/mod26_3_win.pdf.
- European Joint Programme (EJP SOIL) (2019). Smerom k inteligentnému a udržateľnému manažmentu poľnohospodárskych pôd v oblasti klímy (www.ejpsoil.eu).
- Európska zelená dohoda, (2019). <https://www.consilium.europa.eu/sk/policies/green-deal/>.
- Faber, J.H., Cousin, I., Meurer, K.H.E., Hendriks, C.M.J., Bispo, A., Viketoft, M., ten Damme, L., Montagne, D., Hanegraaf, M.C., Gillikin, A., Kuikman, P., Obiang-Ndong, G., Bengtsson, J., Taylor, A.R. (2022). *Stocktaking for Agricultural Soil Quality and Ecosystem Services Indicators and their Reference Values*. In EJP SOIL Internal Project SIREN Deliverable 2. Report 153 s.
- FAO (2012). Soil carbon monitoring based on repeated measurements. In *FAO Forestry Paper* 2012, No.168 (s. 10) <http://www.fao.org/3/i2793e/i2793e02.pdf>.
- FAO (2020). A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes. GSOC-MRV Protocol.
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC). (2003). In: Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Nuendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (Eds.) *Good practice guidance for land use, land use change and forestry*. IPCC/OECD/IEA/IGES.
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., Federici, S. (Eds.) *Agriculture, forestry and other land use, chapter 2: Generic methodologies applicable to multiple land-use categories*, vol. 4. Published: IPCC.
- ISO (1995). ISO 10694: 1995 soil quality determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). ISO.
- ISO (2002). ISO 10381 – 1: 2002(E), Soil quality Sampling – Part 1: Guidance on the design of sampling programs.
- ISO (2021). ISO 23400: 2021 (E), Soil quality – Guidelines for the determination of organic carbon and nitrogen stocks and their variations in mineral soils at field scale.
- Jones, R.J.A., Hiederer, R., Rusco, E., Montanarella, L. (2005). Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. *European Journal of Soil Science*, vol. 56: 655–671.

- Jones, A., Fernandes-Ugalde, O., Scarpa, S., Eiselt, B. (2021). *LUCAS 2022*. EUR30331 EN. Publications Office of the European Union. ISBN 978–92-76-21079-5, JRC121253.
- Koco, Š., Barančíková, G., Kobza, J., Halas, J. (2023). Príprava databázy pôdnych údajov pre modelovanie zásob pôdneho organického uhlíka na poľnohospodárskych pôdach Slovenska. Adamčíková K., Golian, J. (Eds.). *Zborník vedeckých prác, Slovenská spoločnosť pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri SAV v Bratislave. Ústav ekológie lesa SAV*, s. 155–163. ISBN 978-80-974779-0-5.
- Kobza, J., Hrivňáková, K., Makovníková, J., Barančíková, G., Bezák, P., Bezáková, Z., Dodok, R., Grečo, V., Chlpík, J., Listjak, M., Mališ, J., Piš, V., Schlosserová, J., Slavík, O., Styk, J., Širáň, M. (2011). *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd. VÚPOP, Bratislava*, 136 s. ISBN: 978-80-89128-89-1.
- Kobza, J., Barančíková, G., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2017). Current state and development of land degradation processes based on soil monitoring in Slovakia. *Agriculture*, vol. 63: 74–85.
- Kobza, J., Barančíková, G., Dodok, R., Makovníková, J., Pálka, B., Styk, J., Širáň, M. (2024). *Monitoring pôd Slovenskej republiky. Výsledky Čiastkového monitorovacieho systému – Pôda za obdobie rokov 2018 – 2022 (6. cyklus)*, Bratislava, 253 s. ISBN 978-80-8163-050-7.
- Kononova, M.M. (1963). *Organičeskoje veščestvo počv*. Izdatelstvo Akademiji Nauk, Moskva, 314 s.
- Lugato, E., Panagos, P., Bampa, F., Jones, A., Montanarella, L. (2014). A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach. *Global Change Biology*, vol. 20: 313–326.
- Lal, R. (2016). *Soil health and carbon management*. Food and Energy Security. doi: 10.1002/fes3.96.
- Lugato, E., Bampa, F., Panagos, P., Montanarella, L., Jones, A. (2015). Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global Change Biology*, vol. 20: 3557–3567.
- Makovníková, J., Barančíková, G. (2009). Assessment of Transport Risk of Cadmium and Lead on the Basis of Immobilisation Capability of Soil. *Soil and Water Research*, vol. 1: 10–16.
- Makovníková, J. (2001). Distribution of Cd and Pb in main soil types of Slovakia. *Agriculture*, vol. 47: 903–912.
- Makovníková, J., Širáň, M., Houšková, B., Pálka, B., Jones, A. (2017). Comparison of different models for predicting soil bulk density. Case study – Slovakian agricultural soils. *International Agrophysics*, vol. 31: 491–498, ISSN: 0236-8722 (Print) 2300-8725 (Online).
- Makovníková, J., Pálka, B., Širáň, M., Kanianska, R., Kizeková, M., Jaďudová, J. (2017). *Modelovanie a hodnotenie agroekosystémových služieb*. Banská Bystrica: Belianum, Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici, 150 s. ISBN 978-80-557-1242-0
- Mederly, P., Černecký, J. *et al.* (2019). *Katológ ekosystémových služieb Slovenska*. Banská Bystrica, ŠOPSR, UKF Nitra, ÚKESAV. 215p. <http://www.sopsr.sk/natura/dokumenty/Katalog-ES.pdf>.
- Maréchal, A., Panagos, P., Jones, A., Arias Navarro, C., Ballabio, C., Beltrandi, D.,

- Breure, T., de Medici, D., de Rosa, D., Fendrich, A., Koeninger, J., Labouyrie, M., Liakos, L., Jimenez, J., Matthews, F., Montanarella, L., Muntwyler, A., Orgiazzi, A., Scarpa, S., ... Yunta Mezquita, F. (2023). A review of 2022 activities. *EUSO annual Bulletin JRC*, Technical Report (JRC133346). ISSN 183-9424.
- Meurer, K.H.E., Hendriks, C.M.J., Faber, J.H., Kuikman, P.J., van Egmond, F., Garland, G., Putku, E., Barančíková, G., Makovníková, J., Chenu, C., Heremann, A.M., Bispo, A. (2024). How does national SOC monitoring on agricultural soils align with the EU strategies? An example using five case studies. *European Journal of Soil Science*, vol. 75(2), s. e13477.
- Meersmans, J., van Wesemael, B., van Molle, M. (2009). Determining soil organic carbon for agricultural soils: a comparison between Walkley & Black and the dry combustion methods (north Belgium). *Soil Use and Management*, vol. 25: 346–353.
- Mikhailova, E.A., Noble, R.R.P., Post, C.J. (2003). Comparison of soil organic carbon recovery by Walkley-Black and dry combustion methods in the Russian chernozem. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 34: 1853–1860.
- Montanarella, L., Panagos, P. (2021). The relevance of sustainable soil management within the European green Deal. *Land Use Policy*, vol. 100, s. 104950.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1996). Chapter 34: Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Page A.L. (ed.), *SSSA Book Series no. 5 Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods* (p. 677). Soil Science Society of America and American Society of Agronomy
- Panagos, P., Hiederer, R., Van Liedekerke, M., Bampa, F. (2013). Estimating soil organic carbon in Europe based on data collected through an European network. *Ecological Indicators*, vol. 24: 439 – 450.
- Pavlů, L., Sobocká, J., Borůvka, L., Penížek, V., Adamczyk, B., Baumgarten, A., Castro, I.V., Cornu, S., de Boever, M., Don, A., Feiziene, D., Garland, G., Gimeno, B.S., Gracman, H., Hawotte, F., Higgins, A., Kasparinskis, R., Kasper, M., Kuk, L., Laszlo, P., Madenoglu, S., Meurer, K., Schjønning, P., Skaalsveen, K., O'Sullivan, L., Vanino, S., Vervuurt, W., Wawer, R. (2021). Deliverable 2.2. *Stocktaking on soil quality indicators and associated decision support tools, including ICT tools* Report WP2 EJP SOIL. <https://edepot.wur.nl/5638>
- Peralta, G., di Paolo L., Luotto, I., Omuto, C., Mainka M., Viatkin, K., Yigini, Y. (2022). *Global soil organic carbon sequestration potential map* (GSOCseq v1.1) – Technical manual. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb2642en>
- Soil monitoring and resilience directive (2024). EU Legislation in Progress. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/757627/EPRS_BRI\(2024\)757627_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/757627/EPRS_BRI(2024)757627_EN.pdf).
- Santi, C., Certini, G., d'Acqui, L.P. (2006). Direct determination of organic carbon by dry combustion in soils with carbonates. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 37(1–2): 155–162.
- Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K., Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences*, vol. 8: 1193–1212.
- Skalský, R., Koco, Š., Barančíková, G., Tarasovičová, Z., Halas, J., Koleda, P., Makovníková, J., Gutteková, M., Tobiašová, E., Gömöryová, E., Takáč, J. (2020). Land cover

- and land use change-driven dynamics of soil organic carbon in north-east Slovakian croplands and grasslands between 1970 and 2013. *Ekológia*, vol. 39(2): 159–173.
- Skalský, R., Barančíková, G., Makovníková, J., Koco, Š., Halas, J. Kobza, J. (2024). Regional topsoil organic carbon content in the agricultural soils of Slovakia and its drivers, as revealed by the most recent national soil monitoring data. *Environmental Challenges*, vol. 14, s.100816.
- Sleutel, S., de Neve, S., Singier, B., Hofman, G. (2007). Quantification of organic carbon in soils: A comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 37(19–20): 2647–2657.
- Smith, P. (2004). How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global Change Biology*, vol. 10: 1878–1883.
- Smith, P., Soussana, J.-F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D. P., Batjes, N.H., van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Arias-Navarro, C., Olesen, J.E., Chirinda, N., Fornara, D., Wollenberg, E., Alvaro-Fuentes, J., Sanz-Cobena, A., Klumpp, K. (2019). How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, vol. 26: 219–241.
- Srivasta, P., Singh, R., Triparhi, S., Singh, H., Singh Raghubansahi, A. (2016). Soil carbon dynamic and climate change: current agro-environmental perspectives and future dimensions. *Energy, Ecology and Environment*, DOI 10.1007/s40974-016-0024-9.
- Stolbovoy, V., Montanarella, L., Filippi, N., Jones, A., Gallego, J., Grassi, G. (2007). *Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soils of European Union*. In Version 2. EUR 21576 EN/2, 56 s. Office for Official Publications of the European Communities.
- Tobiašová, E., Barančíková, G. (2023). *Modely bilancie pôdnej organickej hmoty*. SPU Nitra, 101 s. ISBN 978-80-552-2636-2.
- Walkley, A.J., Black, I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, vol. 37:29–38.
- Yigini, Y., Montanarella, L., Panagos, P. (2017). European contribution towards a global assessment of agricultural soil organic carbon stock. *Advanced in Agronomy*, vol. 142: 385–402.

VÝSLEDKY DVOJFÁZOVÉHO PRIESKUMU WP 2 PROGRAMU EJP SOIL V ROKOCH 2023/2024 A BUDÚCE PÔDNE ASPIRAČNÉ CIELE NA SLOVENSKU

Results of the two-phase WP 2 survey of the EJP SOIL project in 2023/2024 and future soil aspirational goals in Slovakia

Michal Sviček, Adriana Zverková, Kristína Buchová

*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav
pôdoznalectva a ochrany pôdy, Trenčianska 55, 821 09 Bratislava*

Korešpondujúci autor:

Ing. Michal Sviček, CSc., e-mail: michal.svick@nppc.sk

Abstrakt

Príspevok je plánovaným pokračovaním aktivít programu EJP SOIL WP 2 – „cestovná mapa projektu“ z roku 2020–2021 po časovom období kedy riešenie bolo skomplikované pandémiou, najmä čo sa týka formy zisťovania údajov. V rokoch 2023 a 2024 sa jednalo o dvojfázový proces, t. j. dva zdroje informácií: zaslané dotazníky zainteresovaným stranám predstavovali prvý krok riešenia v októbri 2023. V marci 2024 nasledoval druhý krok – workshop, následne prebehla syntéza výsledkov oboch krokov podľa jednotnej metodiky na úrovni EJP SOIL. Na základe syntézy príspevkov (národných prieskumov a workshopov) z viac ako 20 partnerských krajín výsledky prieskumu naznačujú, že vnímanie zainteresovaných strán týkajúce sa problémov s pôdou, vedomostných medzier a prekážok udržateľného hospodárenia s pôdou je rôzne a možno ho hodnotiť v kontexte jednotlivých krajín. Vo všeobecnosti výsledky kontaktovaných zainteresovaných strán zo strednej Európy uviedli, že najväčší priestor na zlepšenie stavu možno nájsť v znalostiach a inováciách (17 %), po ktorých nasleduje vzdelávanie (14 %). V slovenských podmienkach za najdôležitejšie príležitosti považujú zainteresované strany rozvoj nového národného adekvátneho využitia európskych programových výziev a rozšírenie a zlepšenie monitorovania stavu pôdy.

Kľúčové slová: vedomostné potreby, pôdne výzvy, pôdny manažment, SWOT analýza, zainteresované strany, dotazníky, workshop

Abstract

The article is a planned continuation of the activities of the EJP SOIL WP 2 pro-

gram – „project roadmap“ from 2020 – 2021 after a period when the research realisation was complicated by the pandemic, especially in terms of the form of data collection. In 2023 and 2024, it was a two-phase process, i. e. 2 sources of information: questionnaires sent to stakeholders represented the first step of the solution in October 2023. In March 2024, the second step followed – a workshop, a synthesis of the results of both steps according to a uniform methodology at the EJP SOIL. Based on the synthesis of contributions (national surveys and workshops) from more than 20 partner countries, the survey results indicate that the perceptions of stakeholders regarding soil problems, knowledge gaps and obstacles to sustainable soil management are different and can be assessed in the context of individual countries. In general, the results of contacted stakeholders from Central Europe indicated that the largest scope for improvement can be found in knowledge and innovation (17%), followed by education (14%). In Slovak conditions, stakeholder consider the development of a nationally adequate use of European program calls and the expansion and improvement of soil condition monitoring to be the most important.

Keywords: knowledge needs, soil challenges, soil managements, SWOT analyses, stakeholders, questionnaires, workshop

ÚVOD

Program EJP SOIL (v rámci H2020) s názvom „Smerom k udržateľnému manažmentu poľnohospodárskych pôd z hľadiska klímy“ je rozčlenený do deviatich pracovných balíkov, z ktorých každý je zameraný na špecifické potreby a ciele a pre zabezpečenie logického procesu činností (European Commission 2006). Pracovný balík WP 2 je smerovaný na vytvorenie Cestovnej mapy pre EJP SOIL (Keestra *et al.* 2024), ktorá je funkčnou agendou pre aktivity EJP SOIL a popisuje víziu klimaticky inteligentného a udržateľného manažmentu poľnohospodárskej pôdy (Cocklin, Mautner, Dibden 2007, Dalkir 2005). Počas realizácie projektu v rokoch 2023 – 2024 bolo prizvaných celkovo viac ako 20 partnerských krajín konzorcia EJP SOIL k účasti na aktivitách súvisiacich s hodnotením stavu poznania a využívania poznatkov viazaných na udržateľné hospodárenie na pôde v 5. roku riešenia programu EJP SOIL. Syntéza vychádza z národných správ vypracovaných 23 krajinami, nakoľko z Poľska neboli poskytnuté žiadne informácie. Odpovede Litvy tiež neboli zahrnuté do kvantitatívnej analýzy prieskumných údajov, pretože uvádzali len spriemerované odpovede.

Bol to 2-fázový proces, 2 zdroje informácií: dotazníky zaslané zainteresovaným stranám v októbri 2023, predstavovali prvý krok riešenia. V marci 2024 bol ako druhý krok zorganizovaný workshop so zainteresovanými stranami. Po ňom na-

sledovala syntéza výsledkov oboch fáz podľa jednotnej metodiky na EJP SOIL. Usmernenia prieskumu boli navrhnuté tak, aby sa cvičenie mohlo dokončiť počas výročných stretnutí v národných centrách počas zimy 2023 – 2024. Tieto dve aktivity (prieskum a workshop) boli navrhnuté tak, aby sa dopĺňali v tom, že prieskum hodnotil vnímanie výziev a prekážok zainteresovanými stranami, zatiaľ čo diskusie na workshope zapájali zainteresované strany do identifikácie základných mechanizmov a možností zmiernenia najdôležitejších nedostatkov a výziev v znalostiach pôdy (Ruysschaert *et al.* 2020, Keestra *et al.* 2021, Keestra 2021, Sviček, Buchová, Hutár 2020, Thorsøe *et al.* 2023).

METODIKA

Zainteresovaným stranám boli zaslané dotazníky (1. etapa), ktoré zároveň predstavovali základný materiál pre vyhodnotenie výsledkov zaslaných v októbri 2023. V podmienkach Slovenska bol prieskum realizovaný prevažne emailom, prípadne doplnený o telefonickú komunikáciu.

Workshop so zainteresovanými stranami (2. etapa), najmä SWOT analýza a odpovede na ďalšie otázky workshopu, predstavovali druhý zdroj pre vyhodnotenie celkových výsledkov opakovaného WP 2. Workshop, ktorý sa konal 14. marca 2024, bol organizovaný formou osobnej účasti (*face-to-face*) v kombinácii s možnosťou online prihlášky.

Prieskum – metóda implementácie (dotazníkov) vychádzala z prvotných informácií z výberu zainteresovaných strán projektu EJP z rokov 2023/2024. Informácie o zainteresovaných subjektoch boli čerpané z viac ako 20 národných správ, keďže Poľsko nepredložilo záverečnú správu.

Základné metodické postupy a náčrt otázok poskytnutých koordinátormi projektu EJP SOIL boli rovnaké pre všetkých účastníkov: „Smernica a vzor pre prieskum“ a „Spôsob realizácie prieskumu“ (Paustian *et al.* 2016). V angličtine spracované materiály, boli preložené z angličtiny do slovenčiny a zaslané zainteresovaným stranám. Odpovede Litvy neboli zahrnuté do kvantitatívnej analýzy údajov z prieskumu, pretože uvádzali len priemerné odpovede.

Metodika workshopu a štruktúra otázok

1. fáza – dotazník prieskumu obsahoval 8 základných otázok rozdelených do 3 častí

- Časť 1: Základné informácie (prieskum zainteresovaných strán);
- Časť 2: Stav poznatkov o udržateľnom hospodárení na pôde v príslušných environmentálnych zónach (prieskum medzi zainteresovanými stranami). V tejto časti sa žiada, aby sa posúdili potreby vedomostí v prílohách 2, 3 a 4 podľa krajiny;
- Časť 3: Prekážky rozvoja, dostupnosti a prenosu vedomostí.

Časť 1:

Otázka 1: prehľad kategórií zainteresovaných strán na Slovensku: do ktorej kategórie zainteresovaných strán patríte? (Tab. 1).

Tabuľka 1 Otázka 1: Kategórie zainteresovaných strán na Slovensku: do ktorej kategórie zainteresovaných strán patríte?

Survey question 1.	Guidance: To which cat~ of stakeholder/ stakeholders do you belong?/ Which category of stakeholder do you belong to? (please tick the box that match your stakeholder category)	
	Policy-makers	4
	Research communities	6
	Research funders	–
	Educational institutions and agricultural colleges	2
	Farmers & demonstration farms	2
	Advisors	4
	Farmers' organisations	6
	Agro-industry, supply & retail	5
	Laboratories	3
	National science testing and verification centers <i>etc.</i>	
	NGOs	
	Others	4
	Short summary quest. 1.	Research communities; further Farmers' organizations and Agro-industry, supply & retail represented the most stake holders. Less were represented categories the Laboratories; Educational institutions and agricultural colleges and unfortunately Farmers & demonstration farms. Advisors were fairly well represented.

V prvej fáze sa na dotazník od zainteresovaných strán v rámci Európskeho projektového konzorcia EJP SOIL vrátilo celkovo 1 077 odpovedí. Počet zainteresovaných strán v každej krajine sa pohyboval od 7 (Írsko) do 211 (Taliansko), odlišné počty sa zúčastnili následného workshopu. Najväčšie zastúpenie zainteresovaných strán predstavovali „výskumné komunity“, „poradcovia“ a „poľnohospodári a demonštračné farmy“. Švajčiarsko, Lotyšsko a Turecko ako účastníkov nemali žiadnych farmárov.

Časť 2: otázka 2: Označte odpoveď číslom 1 – 5 alebo X „Neviem“ na stupnici od 1 do 5, do akej miery súhlasíte s nasledujúcimi tvrdeniami týkajúcimi sa vašich vlastných vedomostí o poľnohospodárskych pôdach?

Dotazník SK: „Skôr súhlasím“ zastupoval najviac zainteresovaných strán; ďalej „Neutrálne“, pokiaľ ide o prehľad poľnohospodárskych pôd v celej našej krajine. O niečo pozitívnejšie hodnotili svoj dobrý prehľad o poľnohospodárskych pôdach v regióne, kde sídlia, častejšie hodnotené ako „Súhlasím“.

Pokiaľ ide o prehľad poľnohospodárskych pôd v regionálnom kontexte (Countries NUTS Level0) pre porovnanie na úrovni konzorcia EJP SOIL – viac ako 20 partnerov vo väčšine krajín približne 75 až 50 % účastníkov odpovedalo s vysokou mierou súhlasu.

Otázky 3 až 8:

3. Aké sú podľa vás tri najdôležitejšie výzvy pre udržateľné hospodárenie na pôde vo vašej krajine? (vyberte a zoradte tri najdôležitejšie pôdne výzvy);

4. Na stupnici od 1 do 5, aké dôležité sú nasledujúce úlohy pre zlepšenie všeobecného stavu vedomostí o pôde vo vašej krajine?

5. Na stupnici od 1 do 5, aké dôležité sú podľa vás potreby vedomostí pre nasledujúce problémy pôdy vo vašej krajine?

6. Na stupnici od 1 do 5, do akej miery súhlasíte s nasledujúcimi tvrdeniami týkajúcimi sa zmien podmienok dlhodobého udržateľného hospodárenia na pôde za posledných 5 rokov?

Časť 3: Prekážky rozvoja, dostupnosti a prenosu vedomostí.

7. Uvedte, prosím, dôležitosť odstránenia rôznych prekážok vo vzťahu k trom hlavným problémom pôdy, ktoré ste identifikovali. Pre každú pôdnu výzvu ohodnoťte dôležitosť odstránenia nasledujúcich špecifických bariér na Likertovej škále (Uebersax 2006).

8. Iné úvahy?

Otázky 2 až 7 v zaslaných dotazníkoch boli navrhnuté s odpoveďami hodnotenými na Likertovej škále od 1 do 5, ôsma otázka bola vo forme voľného textu. Viac k výsledkom dotazníka v kapitole: Výsledky a Diskusia.

Druhá časť riešenia WP 2 v rokoch 2024 – 2025 prebiehala formou osobného workshopu s osobnou účasťou zainteresovaných strán, ale bola aj možnosť zapojiť sa do workshopu formou webinára. Celkovo sa zúčastnilo 15 zainteresovaných strán s rovnakým počtom účastníkov osobne aj online. Metodické usmernenia – usmernenie ako aj formuláre boli jednotné pre všetky zúčastnené inštitúcie konzorcia EJP SOIL.

Metodika workshopu: účelom skupinovej diskusie bolo identifikovať príležitosti, stratégie a podmienky umožňujúce vybudovať rámec pre klimaticky inteligentné

a udržateľné hospodárenie na poľnohospodárskej pôde (FAO 2015, McNeill *et al.* 2018, Piorr 2003). Na dosiahnutie týchto cieľov sa uskutočnila analýza silných a slabých stránok, príležitostí a hrozieb (SWOT) so širokým spektrom zainteresovaných strán v 23 krajinách programu EJP SOIL. SWOT analýzy poskytujú užitočný rámec pre vzájomné diskusie a porovnávacie štúdie.

Workshopy zahŕňali skupinové diskusie, metódu používanú na zber kvalitatívnych údajov v aplikovanom výskume s použitím spoločnej šablóny na podporu porovnávania a analýzy medzi krajinami.

- Najprv boli prezentované a prediskutované výsledky prieskumu v rámci EJP SOIL.
- Ďalej sa vykonalo cvičenie SWOT na základe dostupných usmernení.
- Účastníci ohniskovej skupiny boli potom požiadaní, aby prostredníctvom dvoch otvorených otázok rozviedli svoje myšlienky a pozorovania o najnaliehavejších vedomostných potrebách odborníkov pre udržateľné hospodárenie na pôde v 10-ročnej perspektíve a o najdôležitejších iniciatívach na riešenie týchto výziev.

Podobne ako v dotazníku boli formuláre pre zainteresované strany preložené z angličtiny do slovenčiny. Otázky počas workshopu boli rozdelené do sekcií: Časť I. a Časť II.

Časť I. bola ďalej rozdelená na časť I.A: Súhlasia s výsledkami prieskumu – odpoveďami zaslaných zainteresovanými stranami počas prvej časti prieskumu WP2 EJP SOIL v roku 2024 alebo vidia iné významné problémy s pôdou v krajine? Časť I.B: Aké je regionálne rozloženie problémov s pôdou?

Časť II.A. bola založená na cvičení SWOT z hľadiska identifikácie najdôležitejších prekážok (silné stránky, slabé stránky; ohrozenia a príležitosti) pre prijatie udržateľného manažmentu pôdy. Po identifikácii najdôležitejších silných a slabých stránok, hrozieb a príležitostí nasledovalo súhrnné hodnotenie z diskusie o obsahu štyroch prvkov SWOT. Časť II.B uzavrela workshop: diskusia so zainteresovanými stranami na tému: Aké sú najnaliehavejšie poznatky potrebné pre odborníkov z praxe na riešenie najdôležitejších problémov s pôdou v 10-ročnej perspektíve?

VÝSLEDKY

Kapitola prezentuje výsledky prevažne za Slovenskú republiku. Výsledky riešenia WP 2 programu EJP SOIL v rokoch 2023 – 2024 je možné považovať za metodickú kapitolu. Dotazníky zaslané zainteresovaným stranám zároveň predstavovali základný materiál pre vyhodnotenie výsledkov v októbri 2023 – 2024.

Na otázku 1, pokiaľ ide o zastúpenie zainteresovaných strán, výsledok bol nasle-

dujúci: väčšina zainteresovaných strán predstavovala výskumné komunity, ďalej organizácie poľnohospodárov a agropríemysel, zásobovanie a maloobchod. Menej zastúpené boli kategórie laboratórií, vzdelávacie inštitúcie a poľnohospodárske vysoké školy a bohužiaľ farmári a ukážkové farmy. Poradcovia boli pomerne dobre zastúpení. Zastúpenie zainteresovaných strán a typ účasti partnerov EJP SOIL WP 2 na úrovni workshopu 2023 – 2024 je uvedený v Tab. 2.

Tabuľka 2. Zastúpenie zainteresovaných strán a typ účasti na EJP SOIL WP 2 na úrovni workshopu v rokoch 2023 – 2024 podľa krajiny

Region	Country	Workshop type	Number of participants
Central Europe	AT	Online	83
	CH	Online	7
	CZ	In-person	24
	DE	In-person	29
	HU	In-person	86
	SI	Online	13
	SK	Hybrid	36
Northern Europe	DK	In-person	40
	EE	In-person	32
	FI	Online	6
	LT	In-person	88
	LV	Hybrid	36
	NO	In-person	22
	SE	Online	31
Southern Europe	ES	In-person	35
	IT	Hybrid	570
	PT	In-person	44
	TR	Online	20
Western Europe	BE-VLG	In-person	17
	BE-WAL	Online	39
	FR	Hybrid	100
	IE	In-person	12
	NL	Hybrid	13
	UK	In-person	28

Na otázku 2 o znalostiach poľnohospodárskych pôd v našej krajine a regióne: odpoveď „Čiastočne súhlasím“ predstavovalo najviac zainteresovaných strán; druhá odpoveď bola „Neutrálne“. Celkovo respondenti hodnotili dobrý prehľad o poľnohospodárskych pôdach vo svojom regióne.

K otázke 3: zainteresované strany identifikovali najdôležitejšie výzvy udržateľného pôdneho manažmentu na Slovensku ako najčastejšie tieto: udržať/zvýšiť SOC, zabrániť erózii pôdy (napr. vodná/veterná/erózia pri obrábaní pôdy) a zabrániť záberom pôd. Ďalej nasledovali výzvy: vyhnúť sa kontaminácii pôd a zabezpečiť optimálnu štruktúru pôdy. Za veľmi dôležitú výzvu sa považovalo aj zvýšenie účinnosti zadržiavania/využitia živín v pôde a zvýšenie pôdnej biodiverzity. Je zrejmé, že zainteresované strany nepovažujú výzvu: zabrániť salinizácii a degradácii rašeliny za dôležitú v podmienkach Slovenska.

Na otázku 4: (na stupnici od 1 do 5) aké dôležité sú nasledujúce úlohy na zlepšenie všeobecného stavu vedomostí o pôde vo vašej krajine, zainteresované strany identifikovali ako veľmi dôležité: vytváranie nových vedeckých poznatkov o prevalencii kľúčových pôdnych výziev a vývoj nových stratégií pre udržateľné hospodárenie na pôde. Ako dôležité identifikovali zlepšiť monitorovanie pôdy a zlepšiť význam budúcich výskumných činností pre odborníkov z praxe ako aj zdokonaliť výskumnú infraštruktúru. Ako neutrálne označili zvýšiť dostupnosť existujúceho výskumu pre tvorcov politik. Tieto úlohy mali tri najlepšie hodnotenia.

K otázke 5: (na stupnici od 1 do 5) zainteresované strany hodnotili, aké dôležité sú z ich pohľadu potreby vedomostí pre nasledujúce výzvy o pôde, ako najdôležitejšie boli vybrané: vyhnúť sa záberom pôd, zabrániť erózii pôd (napr. vodná/veterná/erózia pri obrábaní pôdy) a udržiavať/zvyšovať obsah SOC. Potom nasleduje: vyhnúť sa kontaminácii, zabezpečenie optimálnej štruktúry pôdy a zvýšenie účinnosti zadržiavania/využitia živín v pôde. Ďalšie výzvy boli menej podstatné.

K otázke 6: nepriaznivým výsledkom tejto otázky je, že zainteresované strany negatívne odpovedali na otázku: do akej miery súhlasíte s nasledujúcimi tvrdeniami o zmenách podmienok udržateľného hospodárenia na pôde za posledných 5 rokov? Väčšinou bola odpoveď na stupnici 4, to znamená čiastočne súhlasím s tvrdeniami, že Európska politika v oblasti pôdy sa posilnila, zdokonalila sa infraštruktúra výskumu pôdy a zlepšilo sa monitorovanie pôdy.

K otázke 7: v prieskume (na stupnici od 1 do 5) zainteresované strany uviedli dôležitosť odstránenia rôznych prekážok (špecifických bariér) vo vzťahu k trom hlavným identifikovaným výzvam pôdy. Najčastejšie označili ako 1, t.j. veľmi dôležitý nedostatok osobných schopností a obmedzené finančné zdroje. Každý zainteresovaný subjekt zo Slovenska odpovedal, akoby to bola len jedna otázka namiesto troch, a tak otázka podľa šablóny 10 je v tomto dotazníku uvedená ako

otázka 8: individuálne vybrané otázky alebo skôr poznámky. Ostatné sú od zainteresovaných strán označené a špecifikované v otázkach 3 – 7. Namiesto troch samostatných odpovedí (v troch tabuľkách) zainteresované strany správne nezlúčili všetky tri odpovede len do jednej odpovede.

Výsledky workshopu

Časť IIA: všetkých 15 účastníkov (bez rozdielu, či ide o osobnú alebo on-line účasť) vo všeobecnosti súhlasilo s výsledkami prieskumu a súhlasilo s ich postojom. Dvaja navyše doplnili názor: A. absentuje problematika mestských pôd.

Časť II.B: účastníci videli regionálne rozdiely, ktoré do značnej miery odrážajú typ a miesto ich zamestnania a preferované záujmy (Jacob *et al.* 2021). Typy odpovedí: najčastejšie odpovede ohľadom regionálnych rozdielov: 1. neadekvátne obhospodarovanie pôdy reagujúce na regionálne disparity; 2. problém zachovania vinohradníckych oblastí v rámci regiónov Slovenska. Menej zastúpené odpovede boli: 1. výstavba na najkvalitnejších pôdach v Podunajskej nížine; 2. odlesňovanie v regióne stredného Slovenska. Pomerne frekventované odpovede boli – ja neviem – 4 krát (Tab. 3).

Časť II.A

Tabuľka 3 Časť II.A: vyhodnotenie SWOT analýzy podľa oslovených zainteresovaných strán

Silné stránky	Poznámka
Finančné dotácie z EÚ	najčastejšie uvádzané
Monitorovanie pôdy	najčastejšie uvádzané
Legislatívna politika	najčastejšie uvádzané
Záujem verejnosti a mladej generácie o ochranu pôdy	menej časté
Slabé stránky	Poznámka
Nedostatok financií z národných zdrojov	najčastejšie uvádzané
Nedostatok personálnych kapacít	najčastejšie uvádzané
Nedostatočne uplatňovaná národná legislatíva koordinácia zainteresovaných strán	najčastejšie uvádzané
Najčastejšie hrozby	
Zaberanie najkvalitnejšej poľnohospodárskej pôdy na Podunajskej nížine	túto hrozbu považuje väčšina účastníkov workshopu za veľmi dôležitú
Kontaminácia pôdy	najčastejšie uvádzané
Degradácia pôdy	najčastejšie uvádzané

Najčastejšie hrozby (pokračovanie tabuľky)	
Likvidácia a zníženie výmery vinogradov	menej časté
Slabá koordinácia a prepojenosť výskumu	menej časté
Slabá vymožitelnosť práva	menej časté
Slabá konkurencieschopnosť slovenských farmárov v porovnaní s kolegami zo západnej Európy	menej časté
Príležitosti	Poznámka
Rozvoj nových národných stratégií	najčastejšie uvádzané
Neadekvátne využívanie výziev európskych programov	najčastejšie uvádzané
Monitorovanie stavu pôdy	najčastejšie uvádzané
Zvyšovanie vzdelania a povedomia o pôde.	menej časté
Prepojenie výskumu a praxe	menej časté
Daňové úľavy pre farmárov	menej časté

Časť II.B:

Účastníci workshopu uviedli nasledujúce najnaliehavejšie poznatky, ktoré odborníci potrebujú na riešenie najdôležitejších problémov s pôdou v 10-ročnej perspektíve:

- Poznatky z vedeckej a výskumnej základne;
- Poznatky z monitoringu pôdy;
- Aplikovať výsledky výskumu do metodických príručiek;
- Potreba stanoviť priority výskumu ministerstvom a zlepšiť spoluprácu vedcov s Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR a spoluprácu vedcov s praxou;
- Veľkým prínosom pre riešenie najnaliehavejších poznatkov pre odborníkov vo výskumnej oblasti je napr. spracovanie dát a sprístupnenie nových postupov v oblasti informatizácie, ako je implementácia algoritmov strojového učenia, práca s veľkým množstvom (balíkom) dát, spracovanie a následná interpretácia dát. Spracovanie týchto údajov prostredníctvom uvedených postupov a algoritmov umožňuje presné a podrobné riešenie najdôležitejších problémov v oblasti monitoringu, ako aj riešenia zdravotného stavu pôdy;
- Vybudovanie vedomostnej základne pre spracovanie stále väčšieho množstva údajov v oblasti prevencie využívania pôdy, erózie, zvyšovania biodiverzity a zachytávania skleníkových plynov tak predstavuje v blízkej budúcnosti naliehavú potrebu odborníkov pôsobiacich vo vedecko – výskumnej oblasti;

- Veľkú úlohu pritom zohráva zodpovedná pôdna politika a finančná podpora.

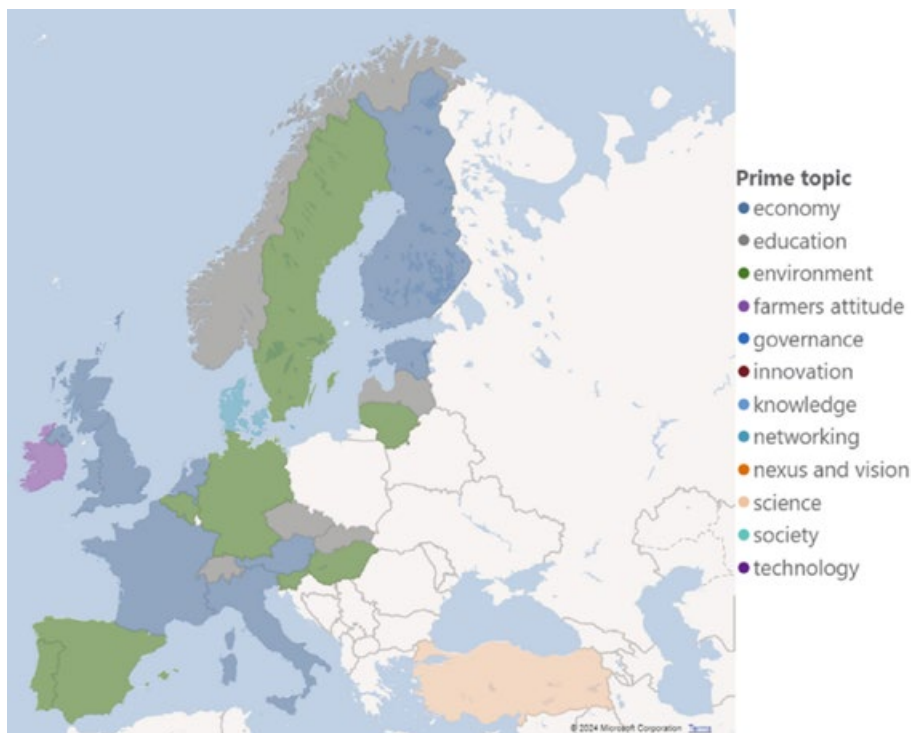
DISKUSIA

V diskusii sa porovnávajú výsledky dosiahnuté za Slovenskú republiku doplnené porovnaním s celoeurópskym konzorciom projektu EJP SOIL. Na prvý pohľad je zaujímavá a zrejme jasná zhoda medzi výsledkami získanými od zainteresovaných strán prostredníctvom dotazníkov a výsledkami získanými počas workshopu.

Boli vystihnuté dôležité silné stránky SWOT analýzy. Je zrejme, že účastníci sú si dobre vedomí výhod členstva v EÚ, teda pochopiteľne aj finančnej podpory vyplývajúcej z členstva SR v EÚ. Za silné stránky považujú aj zapojenie Slovenska do európskych projektov, ako aj dôležitosť pravidelného monitoringu kvality pôd (napr. Kobza *et al.* 2014). Niektoré zainteresované strany subjektívne konštatovali existenciu úrodných pôd najmä na Podunajskej nížine a záujem verejnosti, najmä mladej generácie, o ochranu pôdy. Na druhej strane za slabé stránky sa považuje nedostatočná národná podpora a tiež nedostatok personálnych kapacít. V odpovediach uvedených v dotazníkoch a vo výsledkoch workshopu je opäť veľká zhoda vo vnímaní hrozieb zainteresovanými stranami. Za najnebezpečnejšiu hrozbu sa považujú zábery úrodných poľnohospodárskych pôd pre iné účely, po ktorej nasleduje kontaminácia pôdy a jej degradácia. Špecifickou hrozbou je likvidácia a znižovanie výmery vinogradov (spravidla trvalých kultúr vrátane sádov a chmeľníc). Za najdôležitejšie príležitosti sa považuje rozvoj nových národných výziev európskeho programovania a rozšírenie a zlepšenie monitorovania stavu pôdy.

Otázka 2. Pokiaľ ide o prehľad poľnohospodárskej pôdy v regionálnom kontexte, vo väčšine krajín približne 75 až 50 % účastníkov odpovedalo s vysokou mierou súhlasného stanoviska.

Otázka 3: Odpoveď v tejto otázke zahŕňa aj otázku 4 a 5 spoločného jedinečného formulára WP 2 023 EJP Soil Project. Rozdelenie Európy na regióny je opísané a znázornené na Obr. 1 (Metzger *et al.* 2005):



Obrázok 1. Rozdelenie Európy na regióny: štyri identifikované regióny EJP sú znázornené takto:

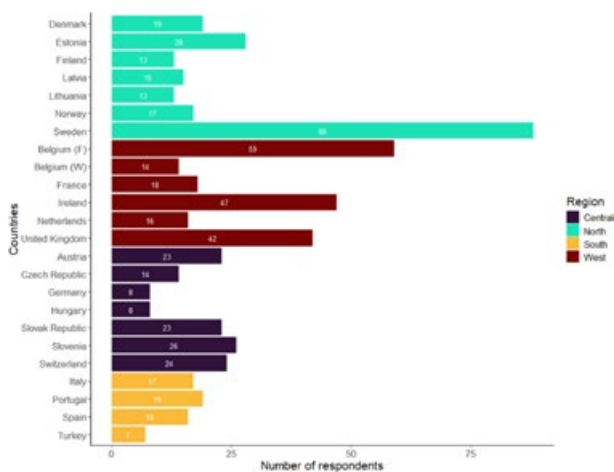
Stredná Európa: Rakúsko (AT), Česká republika (CZ), Nemecko (DE), Maďarsko (HU), Slovensko (SK), Slovinsko (SI) a Švajčiarsko (CH);

Severná Európa: Dánsko (DK), Estónsko (EE), Fínsko (FI), Lotyšsko (LV), Litva (LT), Nórsko (NO) a Švédsko (SE);

Južná Európa: Taliansko (IT), Portugalsko (PT), Španielsko (ES) a Turecko (TR);

Západná Európa: Belgicko-Flámsko (BE-VLG), Belgicko-Valónsko (BE-WAL), Francúzsko (FR), Írsko (IE), Holandsko (NL) a Spojeného kráľovstvo (UK)

Počet respondentov zastúpených vo SWOT analýze je uvedený na Obr. 2.



Obrázok 2 Počet respondentov uskutočnenej SWOT analýzy podľa regiónov

Úplný súbor údajov SWOT obsahoval 10 tém a 114 tém. Na podporu vizualizácie stromové grafy obsahujú iba témy, ktoré boli zahrnuté vo viac ako jednej národnej správe ($n = 42$ tém vynechaných z obrázku na podporu vizualizácie). Okrem toho zainteresované strany identifikovali 139 vedomostných potrieb, ktoré boli zoskupené do 30 tém a tieto témy boli ďalej kategorizované do 12 hlavných tém.

Spoločnou výzvou, ktorej sa venovala najväčšia pozornosť vo všetkých regiónoch, bolo „udržať/zvýšiť obsah SOC“. Medzi ďalšie bežne vybrané výzvy, zoskupené podľa regiónov, patrili: „vyhnúť sa záberom pôd“ v strednej, severnej a západnej Európe, „vyhnúť sa erózii pôd“ v strednej a južnej Európe, „zvýšiť biodiverzitu pôdy“ v južnej a západnej Európe a „zvýšiť zadržiavanie/využitie pôdnych živín“ v severnej Európe.

Pokiaľ ide o vedomostné potreby, zainteresované strany boli požiadané, aby identifikovali najnaliehavejšie vedomostné potreby pre odborníkov na riešenie najdôležitejších problémov pôdy v 10-ročnej perspektíve. Zainteresované strany identifikovali 32 tém pre potreby znalostí, pričom prvé tri sú (10 %, 7,2 % a 7,2 %) sú v uvedenom poradí:

1. „Vedecké poznatky“: zahŕňajú potreby údajov/analýzy/monitorovania/harmonizácie;
2. „Inovácia manažmentu“: znamená inovácie v riadení a postupoch, GAP, GFP;
3. „Biodiverzita pôdy“.

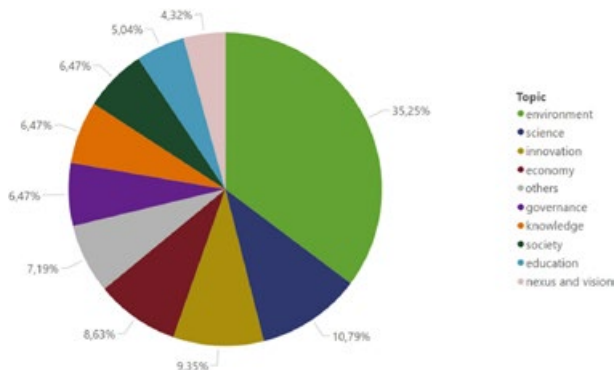
Potreby vedomostí sa v jednotlivých európskych regiónoch líšia. V strednej Európe sú prioritnými témami „vedecké znalosti“, „inovácie manažmentu“, „vzdelávanie a odborná príprava“ a „prenos znalostí“. V severnej a západnej Európe sa primárne znalosti musia zamerať na „vedecké poznatky“ a „biodiverzitu pôdy“. V južnej Európe sú hlavnými identifikovanými témami „vedecké poznatky“, „inovácie manažmentu“ a „organický uhlík v pôde“.

Otázka 6, (na stupnici od 1 do 5) do akej miery súhlasíte s nasledujúcimi tvrdeniami týkajúcimi sa zmien podmienok udržateľného hospodárenia na pôde za posledných 5 rokov? Zainteresované strany (skratka krajín v zátvorkách) odpovedali:

- stále existuje prekážka prenosu poznatkov k poľnohospodárom (ES)
- žiadne výrazné zlepšenie v oblasti udržateľného obhospodarovania pôdy (ES)
- nesúhlas s prístupom EÚ k ochrane pôdy (CZ)
- zhutňovanie pôdy nie je dostatočne riešené (SE)
- nedostatok spolupráce, resp. koordinácie medzi rôznymi univerzitami a inými zainteresovanými stranami (SE)
- zväčša viditeľná diskusia, ale žiadna činnosť v oblasti výskumu (SE).

Otázka 7. Podľa odpovedí na otázku 7 sa zdá, že „obmedzené finančné zdroje“, „neadekvátne politika“, „nedostatok komunikácie o vedomostiach“ a „nedostatočne rozvinutá pozemná sieť“ sú v mnohých krajinách považované za najdôležitejšie prekážky.

Ak sú výsledky agregované podľa makroregiónu (Obr. 3), je zrejmé, že severná a južná Európa prikladajú rovnakú alebo takmer rovnakú váhu potenciálu ekonomického zlepšenia a témam založeným na vedomostiach (19% pre sever), s určitou prevahou vedomostí na juhu (21% a 23%). Na druhej strane, v západnej



Obrázok 3 Vedomostné potreby – prevaha tém v jednotlivých krajinách ako percento z celku; pre lepšiu vizualizáciu sú zobrazené len hodnoty > 4%.

Európe sa najväčší význam pripisuje samotnej ekonomike (22 %), za ktorou nasleduje riadenie (17 %). Zainteresované strany zo strednej Európy uviedli, že najväčší priestor na zlepšenie možno nájsť aj vo vedomostiach a inováciách (17 %), po ktorých nasleduje vzdelávanie (14 %).

ZÁVER

Na základe syntézy príspevkov (národné prieskumy a workshopy) z 23 partnerských krajín výsledky prieskumu naznačujú:

- že vnímanie problematiky pôdy, vedomostných medzier a prekážok udržateľného manažmentu pôdy zainteresovanými stranami je rôznorodé a možno ho považovať za výsledok prieskumu v kontexte jednotlivých krajín výsledky všeobecne naznačujú, že miestne znalosti poľnohospodárskej pôdy sú medzi respondentmi silné, oveľa viac ako na národnej úrovni;
- hoci sa problémy s pôdou medzi regiónmi a v rámci nich líšia, hlavným problémom je „udržiavanie/zvýšenie SOC (pôdny organický uhlík)“, znalosti zamerané na SOC, štruktúru pôdy, biodiverzitu a zlepšenie účinnosti živín;
- respondenti vyjadrili zmiešané názory na zlepšenie podmienok hospodárenia na pôde za posledných päť rokov, hoci niektorí súhlasili s tým, že sa posilnili európske a vnútroštátne pôdne politiky a že dostupnosť výskumu pôdy pre odborníkov sa o niečo zlepšila.

Výsledky nadväzujú na sériu inventarizácie, ktorá sa začala v prvej fáze programu EJP SOIL, kde sa vraciame k niektorým otázkam pôvodne využitými v prieskume, ktorý sa uskutočnil v roku 2020 v aktualizovanej podobe. Napriek krátkemu trvaniu od prvého súpisu v roku 2020 sa v oblasti výskumu a politiky veľa zmenilo.

Zaujímavý záver možno získať z časti 3: Bariéry rozvoja, dostupnosti a prenosu vedomostí. Prekážky pri prijímaní postupov udržateľného hospodárenia s pôdou sú spojené s obmedzenými finančnými zdrojmi, neadekvátnymi politikami a slabou komunikáciou poznatkov, ktoré sa považujú za rozhodujúce. Okrem toho sa za najvyššiu prioritu považuje zlepšenie dostupnosti výskumu pre odborníkov z praxe a tvorcov politík niektorých krajinách a ďalšími prekážkami sú považované nedostatočné vzdelanie a informovanosť o pôde. Národné správy zdôrazňujú prepojenie vedomostí, vytváranie podmienok (napríklad v *Living Labs*) a zlepšené monitorovanie pôdy ako kľúčové faktory na dosiahnutie udržateľného manažmentu pôdy.

Výstupy z workshopov zainteresovaných strán WP 2 v roku 2024 skúmali podmienky riešenia najpálčivejších problémov krajiny v nasledujúcom desaťročí.

- Klimatická zmena a degradácia pôdy viedli v Európe k celému radu negatívnych environmentálnych a sociálnych vplyvov.

Hoci ekonomické faktory, praktiky a riziká farmárov obmedzujú prijatie udržateľného obhospodarovania pôdy, existovala zhoda o dôležitosti trhových infraštruktúr a miestnych praktík a zdieľania rizika. Namiesto toho, aby sa zlepšilo udržateľné hospodárenie na pôde v Európe, bolo jasné, že na podporu tohto prechodu sú potrebné rôzne metódy, politiky a systémový prístup. Metódy, ktoré vyvažujú environmentálne a sociálne kompromisy, politiky, ktoré sú koherentné naprieč úrovňami správy a založené na mieste, a systémy, ktoré podporujú kapacitu a ochotu vytvárať holistické zmeny, by mohli zlepšiť udržateľnosť pôdy.

- Informácie sú dôležité aj na podporu udržateľného hospodárenia s pôdou.
- Efektívne cesty by mali zahŕňať odstraňovanie prekážok sietí (v prvom rade vnímané ako slabé stránky) a zlepšovanie sociálnych výziev (v prvom rade vnímané ako príležitosti) a hľadanie primeranej rovnováhy pre zhromažďovanie vedomostí (považovaných za rovnaké silné a slabé stránky) a ich dostupnosť v rôznych kontextoch EÚ. Najčastejšie sa však zdôrazňovala výzva „zachovať/zvýšiť SOC“, po ktorej nasledovali „vyhnúť sa záberom pôd“ a „vyhnúť sa erózií pôdy“.

Naprieč regiónmi sa usúdilo, že sú potrebné dôležité znalosti na riešenie „Zachovanie/zvýšenie SOC“, po ktorom nasledovali „Optimálna štruktúra pôdy“, „Zvýšenie biodiverzity pôdy“ a „Zvýšenie účinnosti zadržiavania/využitia živín v pôde“.

Všetky vyššie uvedené výzvy zamerané na zlepšenie poznatkov o pôde sa vo všeobecnosti považovali za dôležité v rámci regiónov, pričom najvyššia priorita sa dávala zvýšeniu dostupnosti existujúceho výskumu pre odborníkov a tvorcov politik a zlepšeniu koordinácie vytvárania poznatkov medzi zainteresovanými stranami.

Respondenti boli v priemere neutrálni až trochu nesúhlasní so zmenami podmienok udržateľného hospodárenia na pôde za posledných päť rokov. Niektoré závery možno vyvodiť aj z diskusie na workshopoch:

- Prekážkami, ktoré sa medzi krajinami najčastejšie považovali za dôležité, boli „obmedzené finančné zdroje“;
- Je potrebné zdieľať a šíriť poznatky, nástroje a integrovanú komunitu, ktorá bude podporovať klimaticky inteligentné udržateľné hospodárenie s poľnohospodárskou pôdou.
- Bariéry vnímame skôr ako nedostatok vedomostí, ich využitie v praxi (napr. zmena zaužívaných agrotechnických postupov) a nedostatočná ochrana poľnohospodárskej pôdy (najmä získavanie pozemkov na výstavbu). Nemenej dôležitá je orientácia na poľnohospodársky nevyužívanú pôdu (2,4 mil. ha – nedostatok pôdy v produkcii potravín v SR). Slovensko ako rozdrobená krajina s rôznorodými pôdnymi typmi potrebuje citlivé obhospodarovanie pôdy nie veľkovýrobou, ale posilňovaním regionálneho rodinne orientovaného hospo-

dárenia ekologickým a krajinárskym spôsobom, aby aj budúce generácie mohli jesť zdravé potraviny.

- Je potrebné vedecky, mediálne a ekonomicky ovplyvňovať konzumný životný štýl civilizácie a neznehodnocovať ťažko dostupné potraviny z prírodných zdrojov.
- Je potrebné posilniť postavenie, kapacity a personálne obsadenie VÚPOP, zväziť samostatnosť ústavu.

Na prenos poznatkov do regiónov využiť novovytvorené kapacity VÚRV, IZPI Nitra – školenia, informačné dni, Pedologické dni, demofarmy, spolupráca so strednými školami s poľnohospodárskymi študijnými odbormi, vzdelávací program pre základné školy o význame pôdy a jej ochrane. Zabezpečiť prístup k cenovo dostupným službám spojeným s monitoringom pôdy – drobní farmári, verejnosť, obce.

- Pôda nie je dostupná pre poľnohospodárov, iba pre podnikateľov. Pozemkové úpravy na Slovensku prebiehajú veľmi pomalým tempom. Rozdrobenosť vlastníctva nevytvára podmienky pre udržateľné obhospodarovanie pôdy.

Veľkým problémom najmä v oblasti vinohradníctva je zanedbaná poľnohospodárska pôda, najmä zarastená náletovými rastlinami (často krikmi a stromami). Prístup miestnych úradov životného prostredia je veľmi negatívny, pokiaľ ide o povoľovanie odstraňovania náletov na poľnohospodárskej pôde (napr. terasy sádov, vinohradov). Verím, že tu by pomohla novela §47 Zákona o ochrane prírody a krajiny a tiež Zákona o ochrane poľnohospodárskej pôdy 220/2004.

POĎAKOVANIE

Tento projekt bol financovaný z programu Európskej únie pre výskum a inovácie HORIZONT 2020 na základe dohody o grante č. 862695.

REFERENCES

- Cocklin, C., Mautner, N., Dibden, J. (2007). Public policy, private landholders: Perspectives on policy mechanisms for sustainable land management, *Journal of Environ. Management*, vol. 85(4): 986–998.
- Countries (NUTS Level 0) European Commission, Eurostat (ESTAT). Available on: <https://isompe.gitlab.io/blog/help/2021/02/01/surveyhelp-enz.html>
- Dalkir, K. (2005). *The knowledge management cycle. Knowledge management in theory and practice*. Oxford: Elsevier, pp.25–46.
- European Commission (2006). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Thematic Strategy for Soil Protection, COM 231 Final, Brussels, 2006.

- FAO (2015). *Voluntary Guidelines for sustainable soil management*. Available on: <http://www.fao.org/3/bl813e/bl813e.pdf>.
- Jacob, M., Maenhout, P., Verzandvoort, S., Ruyschaert, G. (2021). Report on identified regional, national and European aspirations on soil services and soil functions. EJP SOIL Deliverable D2.5. 184p.
- Kobza, J. *et al.* (2014). *Soil monitoring of the Slovak Republic. Current state and development of monitored soil properties as a basis for their protection and further use (4th monitoring cycle 2007–2012)*. NPPC – SSCRI Bratislava, 2014, 252 p. ISBN 978-80-8163-004–0.
- Keesstra, S. *et al.* (2021). Deliverable D2.4 Roadmap for the European Joint Programme SOIL. https://ejpsoil.eu/fileadmin/projects/ejpsoil/WP2/Deliverable_2.4_Roadmap_for_the_European_Joint_Programme_SOIL.pdf
- Keesstra, S. (2021). Deliverable D2.6 Set of reports on state of knowledge in agricultural soil management. Eds: Lars J. Munkholm, Sophie Zechmeister-Boltenstern, Funding source: H2020-SFS-2018 – 2020 / H2020-SFS-2019-1.
- Keesstra, S., Thorsøe, H.M., Munkholm, L.J., Farina, R., Pulido-Moncada, M., Stone, T. F., Bach, L.V., Vanino, S., Baratella, V. (2024). Developing a Roadmap for EU Agricultural Soil Management Research. Report on the current availability and use of soil knowledge, EJP Soil Project. Report DELIVERABLE NUMBER: 2.10; WORK PACKAGE N: WP2, 112p.
- McNeill, A., Bradley, H., Muro, M., Merriman, N., Pederson, R., Tugran, T., Lukacova, Z., (2018). Inventory of opportunities and bottlenecks in policy to facilitate the adoption of soil-improving techniques. Scientific Report No. 9, available on: www.soilcare-project.eu.
- Metzger, M.J. Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Múcher, C.A. and Watkins, J.W. (2005). A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, vol. 14: 549–563.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P. & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, vol. 532(7597): 49–57.
- Piörr, H.P. (2003). Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 98(1–3): 17–33.
- Ruyschaert, G., Jacob M., Munkholm, Lars J., Thorsøe, M., Farina, R., Marandola D., Di Bene, C., Piccini, Ch., Vanino, S., O'Sullivan, L., Wall, D., Keesstra. S. (2020). Toward a roadmap for EU Agricultural Soil Management. Guidelines for the national input of work package 2 – task 2.1 – 2.2 – 2.3.
- Sviček, M., Buchová K, Hutár, V. (2020). EJP SOIL Task 2.1: Identifying current policy ambitions and future soil aspirational goals. Report Slovakia. Version 4. September 2020.
- Thorsøe, H.M., Keesstra, S., De Boever, M., Buchová, K., Bøe, F. Castanheira, N. L., Chenu, C., Cornu, S., Don, A., Fohrafellner, J., Farina, R., Fornara, D., Gonçalves, M., Graversgaard, M., Heller, O., Inselsbacher, E., Jacobs, A., Maysar, S., Meurer, K.H.E., Mihelič, R. O'Sullivan, L., Pulido-Moncada, M., Ruyschaert, G., Sviček, M., Tähtikarhu, M., Vanino, S., Vervuurt, W., Zechmeister-Boltenstern, S. Juhl Munkholm, L. (2023). Sustainable soil management: Soil knowledge use and gaps in Europe. *European Journal of Soil Science*. Volume 74, Online. ISSN: 1365-2389, Print ISSN: 1351-0754, available on: <http://dx.doi.org/10.1111/ejss.13439>

Uebersax, J.S. (2006). Likert scales Dispelling the confusion. Statistical Methods for Rater Agreement website. 2006. Available at: <http://john-uebersax.com/stat/likert.htm>

Editors:

Martin Hvarregaard Thorsøe, Aarhus University

Lars J. Munkholm, Aarhus University

Roberta Farina, Council for Agricultural Research and Agricultural Economy Analysis (CREA)

Authors (listed for each chapter):

Mansonia Pulido-Moncada, Martin Hvarregaard Thorsøe, Lars J. Munkholm, Tiffanie Faye Stone, Jonna Løvlund Bach, Aarhus University, Denmark.

Silvia Vanino, Valentina Baratella, Roberta Farina, Council for Agricultural Research and Agricultural Economy Analysis (CREA), Italy

Contributors (national inputs):

Austria (Julia Fohrafellner, Martina Kittinger, David Ramler, Thomas Weninger, Sigbert Huber, Heide Spiegel),

Belgium-Flanders (Greet Ruysschaert, Adriaan Vanderhasselt),

Belgium-Wallonia (Bruno Huyghebaert),

Czech Republic (Ivana Galušková, Lenka Pavlů),

Denmark (Martin Hvarregaard Thorsøe, Jonna Løvlund Bach),

Estonia (Alar Astover, Liia Kukk),

Finland (Elina Nurmi, Johanna Leppälä, Marja Kujala),

France (Eloise Mason, Sophie Cornu),

Germany (Katrín Schulz, Felix Seidel, Axel Don),

Hungary (Péter László, Tünde Takáts, Zsófia Bakacsi),

Ireland (Avion Phillips, David Wall),

Italy (Roberta Farina, Silvia Vanino),

Latvia (Kristīne Afanasjeva, Baiba Dirnēna, Raimonds Kasparinskis),

Lithuania (Žydrė Kadžiulienė, Virginijus Feiza),

Netherlands (Janjo de Haan, Ardy Saarloos),

Norway (Tove Ortman),

Portugal (Nádia Castanheira, Maria Gonçalves),

Slovakia (Michal Sviček),

Slovenia (Rok Mihelič, Sara Mavsar),

Spain (Elena Rodríguez, Benjamin Sánchez, Marisa Tello),

Sweden (Bo Stenberg, Anke Herrmann, Jennie Barron),

Switzerland (Nicole Bütikofer, Klaus Jarosch, Lutz Merbold),

Turkey (Sevinc Madenoglu, Hesna Özcan),

United Kingdom (Suzanne Higgins)

Kam smeruješ pedológia v 21. storočí?

**Zborník referátov z vedeckého seminára konaného dňa 28. 10. 2024
v Bratislave pri príležitosti životného jubilea doc. RNDr. Jaroslavy
Sobockej, CSc.**

Zostavila: doc. RNDr. Jaroslava Sobocká, CSc.

Recenzentka: RNDr. Beata Houšková, CSc.

Grafická úprava: Ing. Karol Végh

Vydal: Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum –
Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy
Trenčianska 55, Bratislava v roku 2025

Tlač: Edičné stredisko
NPPC – Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy,
Trenčianska 55, Bratislava

© Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav
pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, 2025

ISBN 978-80-8163-057-6



ISBN 978-80-8163-057-6



9 788081 630576 >