



2023

Ján Horák
Vladimír Šimanský
Dušan Igaz
Elena Aydin

Metodika

inovatívnych prístupov úpravy pôdneho prostredia
za účelom zníženia emisií skleníkových plynov,
zabránenia degradácii pôdy bez negatívneho,
resp. s pozitívnym dopadom na úrody plodín
v podmienkach očakávanej klimatickej zmeny



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



SPU · FZKI
Fakulta záhradníctva
a krajinného
inžinierstva



SPU · FAPZ
Fakulta agrobiológie
a potravinových
zdrojov

Názov:

Metodika inovatívnych prístupov úpravy pôdneho prostredia za účelom zníženia emisií skleníkových plynov, zabránenia degradácii pôdy bez negatívneho, resp. s pozitívnym dopadom na úrody plodín v podmienkach očakávanej klimatickej zmeny

Autori:

doc. Ing. Ján Horák, PhD.
prof. Ing. Vladimír Šimanský, PhD.
prof. Ing. Dušan Igaz, PhD.
doc. Ing. Elena Aydin, PhD.

Pracovisko autorov:

Ústav krajinného inžinierstva, FZKI
Ústav agronomických vied, FAPZ

Recenzenti:

doc. Ing. Nora Polláková, PhD., Ústav agronomických vied, FAPZ, SPU v Nitre
Ing. Justína Vitková, PhD., Ústav hydrológie SAV, v. v. i.

Pod'akovanie:

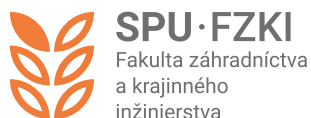
Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Udržateľné systémy inteligentného farmárstva zohľadňujúce výzvy budúcnosti 313011W112, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 30. 6. 2023 ako metodickú príručku online.

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

Táto publikácia je publikovaná pod licenciou Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Public License (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ISBN 978-80-552-2631-6

Obsah

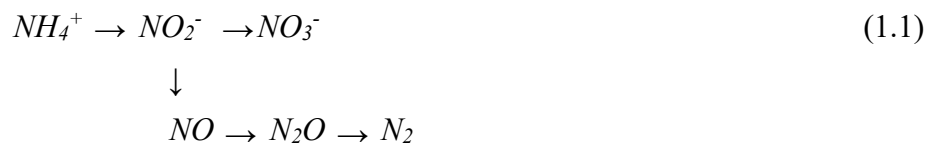
1	Emisie oxidu dusného (N₂O) z pôdy	4
1.1	Procesy zodpovedné za produkciu N ₂ O (nitrifikácia, denitrifikácia).....	4
1.2	Pôdne faktory ovplyvňujúce produkciu N ₂ O z pôdy.....	4
2	Degradácia pôdy.....	6
2.1	Hlavné príčiny antropogénnej degradácie pôdy	6
2.2	Aktuálny stav degradácie pôd	7
3	Produkcia poľných plodín v kontexte klimatickej zmeny.....	7
4	Problematika aplikácie biouhlia do pôdy – cieľ práce	8
5	Metodika	9
5.1	Metodika poľného experimentu s biouhlím Dolná Malanta (Nitra).....	9
5.2	Metodika laboratórneho experimentu s biouhlím.....	9
5.3	Metodika poľných experimentov s biouhlíkovými substrátmi.....	9
6	Aplikácia biouhlia do pôdy ako inovatívny prístup.....	10
6.1	Aplikácia biouhlia v poľných podmienkach ako nástroj na zníženie emisií oxidu dusného (N ₂ O) z pôdy	10
6.2	Aplikácia biouhlia v laboratórnych podmienkach ako nástroj na zníženie emisií oxidu dusného (N ₂ O) z pôdy	10
6.3	Aplikácia biouhlia ako nástroj na zlepšenie kvality pôdy	10
6.4	Aplikácia biouhlia a vplyv na rast a úrody poľných plodín	11
7	Záver.....	13
	Použitá literatúra.....	14

1 Emisie oxidu dusného (N₂O) z pôdy

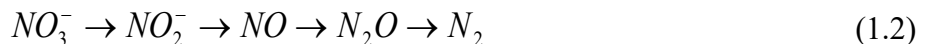
1.1 Procesy zodpovedné za produkciu N₂O (nitrifikácia, denitrifikácia)

Straty dusíka z pôdy sú založené aj na tvorbe a následnom unikaní plyných foriem dusíka z pôdy a to amoniaku (NH₃), ale najmä oxidov dusíka (NO, NO₂, N₂O) a molekulárneho dusíka (N₂). V našej práci sa zaoberáme len plynými stratami oxidu dusného (N₂O) z poľnohospodársky využívaných pôd SR. Väčšina emisií N₂O je produkovaná prostredníctvom biologických procesov nitrifikácie a denitrifikácie.

Nitrifikácia je hlavný zdroj N₂O za aeróbnych podmienok, zatiaľ čo denitrifikácia dominuje pri anaeróbných podmienkach. Počas nitrifikácie baktérie oxidujú dusík prostredníctvom dvojstupňových aeróbnych procesov. Prvá skupina nitrifikačných baktérií oxiduje amoniakálny dusík NH₄⁺ na nitrátový dusík (NO₂⁻) a druhá skupina baktérií oxiduje NO₂⁻ na dusičnanový dusík (NO₃⁻). Tento viacstupňový proces produkuje N₂O ako medziprodukt alebo ako alternatívny produkt oxidácie NH₄⁺ (1.1).



Počas denitrifikácie baktérie redukujú oxidované anorganické formy dusíka. Tento proces môže formovať N₂O ako prechodný medziprodukt, alebo ho baktérie konzumujú (1.2), a preto proces denitrifikácie môže byť buď zdrojom alebo konzumentom tohto plynu v závislosti od environmentálnych podmienok ako sú úrovne kyslíka, dusíka, pH a teploty.



Oba procesy nitrifikácia a denitrifikácia sa môžu v pôdach vyskytnúť simultánne, hoci ich intenzita závisí na pôdnej aerácii a dostupnosti mikróbov. Mikrobionálna produkcia N₂O závisí na prítomnosti minerálnych N substrátoch v pôde. Dusíkaté minerálne hnojivá, resp. organické hnojivá sú považované za hlavné zdroje emisií N₂O (Bøckman a Olf, 1998).

1.2 Pôdne faktory ovplyvňujúce produkciu N₂O z pôdy

Napriek významu minerálneho dusíka (NH₄⁺ a NO₃⁻) v nitrifikačných a denitrifikačných reakciách sú tieto procesy tiež ovplyvnené pôdnymi vlastnosťami ako sú aerácia, zhutnenie, teplota, vlhkosť, pH, organická hmota, dostupný N, pomer C:N, zrnitosť pôdy a tiež aj agrotechnika a oševné postupy (Snyder et al., 2009). Hlavné faktory ovplyvňujúce emisie N₂O z nitrifikácie sú teplota a objemová hmotnosť pôdy (Davidson a Swank, 1986). Na druhej strane, emisie N₂O z denitrifikácie sú ovplyvnené predovšetkým stupňom nasýtenia (saturácie) pôdy vodou (s) (angl. water filled pore space-WFPS).

Teplota pôdy, vlhkosť pôdy a aerácia (prevzdušnenie) pôdy

Teplota a vlhkosť pôdy majú pre procesy nitrifikácie a denitrifikácie veľký význam, pretože určujú aktivitu mikroorganizmov. Pri miernych teplotách je miera konverzie dusíka malá a so zvyšovaním teploty sa zvyšuje. Avšak v širšom rozsahu teplôt sa emisie N₂O zvyšujú so zvyšujúcimi sa teplotami pôdy (0 – 50 °C) exponenciálne a optimum teploty pôdy je

v rozmedzí 15 – 30 °C. To vysvetľuje existenciu tesného vzťahu medzi sezónnou variabilitou tokov N₂O a teplotou pôdy a vzduchu (Zhang a Han, 2008).

Vo všeobecnosti platí, že čím vyššia je vlhkosť pôdy, tým vyššie sú emisie N₂O (Giacomini et al., 2006), pretože oba procesy nitrifikácia a denitrifikácia sú ovplyvňované vlhkosťou pôdy. Avšak pri veľmi vysokej vlhkosti pôdy sa produkcia N₂O znižuje. Zároveň ak dochádza k striedaniu vlhkosti počas vlhkých a suchých období nasledujúcich po sebe, dochádza k nárastu emisií N₂O (Brentrup et al., 2000), pretože optimálny obsah vody v pôde zvyšuje mikrobiálnu aktivitu. Pri veľmi vysokej vlhkosti je mikrobiálna aktivita utlmovaná.

Podľa Brentrup et al. (2000), ak je prevzdušnenie pôdy nižšie, minerálny dusík (N₂) je hlavný dusíkatý plyn emitovaný do atmosféry. Prevzdušnenie pôdy je v úzkom vzťahu s pôdnou vlhkosťou. Čím je stupeň nasýtenia pôdy vodou vyšší, tým menší je počet pórov pôdy vyplnených vzduchom, čím sa zvyšuje produkcia N₂O denitrifikáciou. Optimálne podmienky pôdnej vlhkosti na produkciu N₂O sú v prípade nitrifikácie pri stupni nasýtenia 40 – 60 % a pri denitrifikácii pri stupni nasýtenia nad 60 %. Napriek tomu je dôležité zdôrazniť, že pozícia hlavného procesu neznamená automaticky najväčšieho producenta emisií N₂O.

Pôdny druh a pH pôdy

Podiel N₂O z celkových tokov dusíkatých plynov emitovaných z pôd je tiež ovplyvnený pôdnym druhom. Ílovité pôdy majú tendenciu produkovať vyššie emisie N₂O ako piesočnaté pôdy. Hnojenie dusíkom (N) môže zvýšiť emisie N₂O zvlášť v jemno-zrnných pôdach. Emisie N₂O stimulované agrotechnickými opatreniami na pôde a zrážkami sú štyrikrát vyššie v ílovito-hlinitej pôde ako v hlinito-piesočnatej pôde (Tan et al., 2009).

Pôdna reakcia je ďalším dôležitým faktorom ovplyvňujúcim emisie N₂O, pretože redutáza oxidu dusného je tlmená nízkym pH a prítomnosťou O₂. Všeobecne platí, že ak je denitrifikácia hlavným procesom produkcie N₂O, vyššie hodnoty pH znižujú emisie pôdy N₂O, ale ak je hlavným procesom produkcie N₂O nitrifikácia, potom zvýšenie pH pôdy stimuluje produkciu N₂O. Vysoké koncentrácie NO₃⁻ a nízke pH podporujú produkciu N₂O denitrifikáciou (Bremner, 1997). Pri nízkych hodnotách pH sú emisie N₂O vyššie, pretože malé množstvo tohto plynu je redukované na N₂.

Pôdny organický uhlík

Zvýšenie obsahu organického uhlíka v pôde (Corg) môže zvýšiť produkciu N₂O (Brentrup et al., 2000). Dostupný C ovplyvňuje nitrifikačné a denitrifikačné procesy (Bremner, 1997), pretože môže stimulovať mikrobiálnu aktivitu a tiež poskytuje organický uhlík potrebný pre pôdne denitrifikátory (Cameron, Di, Moir, 2013). Navyše dôsledkom vyššej mikrobiálnej aktivity je zvýšená spotreba O₂, čo spôsobuje tvorbu anaeróbných podmienok potrebných na denitrifikáciu.

Pomer C:N

Transformácia dusíka v pôde zahŕňa dva dôležité biologické procesy: imobilizáciu (alebo asimiláciu), t. j. zachytenie dusíka mikroorganizmami a jeho premenu na organický dusík a mineralizáciu (alebo amonifikáciu), t. j. premenu organického dusíka na NH₃. Rovnováha medzi mineralizáciou a imobilizáciou závisí od C:N pomeru v pôde a od pridaných zvyškov kultúrnych rastlín/plodín. Pôda a rastlinné zvyšky s malým pomerom C:N (nižším ako 30:1) predstavujú dominanciu mineralizácie nad imobilizáciou a dostupný N môže byť absorbovaný rastlinami alebo využitý v mikrobiálnych procesoch.

Prítomnosť pozberových zvyškov slamy s vysokým pomerom C:N na povrchu pôdy môže zvýšiť imobilizáciu aplikovaného N-hnojiva a tým znížiť denitrifikačné reakcie a emisie N₂O. V prípade, že na povrchu pôdy nie je prítomná žiadna slama alebo len slama s malým

pomerom C:N, k imobilizácii N pravdepodobne nedôjde a viac N bude k dispozícii pre nitrifikačné a denitrifikačné procesy a môžu sa vyskytnúť vyššie emisie N₂O (Baggs et al., 2000).

2 Degradácia pôdy

Pod pojmom degradácia pôdy sa myslí znižovanie jej kvality, čiastočná alebo úplná strata jednej alebo viacerých pôdnych funkcií. Môže byť spôsobená prirodzenými alebo antropogénnymi faktormi. Niekedy je problematické jednoznačné určenie rozsahu vplyvu človeka na znehodnocovanie/degradáciu pôdy, avšak práve ľudské aktivity tento proces zásadne zintenzívňujú (Polláková et al., 2021). V zákone č. 220/2004 Z. z. je degradácia pôdy definovaná ako fyzikálne, chemické a biologické poškodenie a znehodnotenie poľnohospodárskej pôdy, ako je vodná erózia a veterná erózia, zhutnenie, acidifikácia, kontaminácia rizikovými látkami, škodlivými rastlinnými organizmami, živočíšnymi organizmami a mikroorganizmami, zníženie obsahu humusových látok v pôde, obmedzenie tvorby mikrobiálnej biomasy a neprirodzené zníženie biologickej aktivity v pôde.

Rôzne typy degradácie sa často vzájomne ovplyvňujú. Degradáciu všetkých pôdnych vlastností treba vzťahovať k živým organizmom, pre ktoré je pôda životným priestorom. V rámci Tematickej stratégie na ochranu pôdy (EÚ, 2006) bolo definovaných týchto osem problémových oblastí ochrany pôdy:

- erózia,
- úbytok obsahu organickej hmoty v pôde,
- znečistenie pôdy,
- zasoľovanie,
- pokles pôdnej biodiverzity,
- zhutnenie pôdy,
- zosuvy a zamokrenie,
- zábery pôdy na nebiologické účely.

2.1 Hlavné príčiny antropogénnej degradácie pôdy

Priemyselná činnosť

Priemyselná činnosť zahŕňa všetku ľudskú činnosť (bio)priemyselnej povahy: priemysel, výrobu energie, odpadové hospodárstvo, dopravu atď. Je najčastejším dôvodom rôznorodého znečistenia (bodového alebo rozptýleného) a straty produkčnej funkcie pôdy.

Urbanizácia

Zmena využívania pôdy na urbánne alebo priemyselné účely spôsobuje predovšetkým zhoršenie fyzikálnych vlastností pôdy. Pôda pôvodne využívaná na poľnohospodársku výrobu sa používa na nepoľnohospodárske účely. Hlavnými príčinami zmeny sú urbanizácia, priemyselná činnosť, výstavba infraštruktúry, baníctvo a ťažba (lomy, haldy).

Odlesnenie alebo odstránenie prirodzenej vegetácie

Príčinou degradácie je odstránenie prirodzenej vegetácie (zvyčajne prirodzeného alebo vysadeného lesa) na veľkej ploche, napr. pri premene lesa na poľnohospodársku pôdu. K nadmernému odlesneniu dochádza pri veľkom zastúpení lesov na hospodárske účely, pri stavbe ciest, rozvoji urbanizácie, atď. Odlesňovanie často zapríčiňuje eróziu pôdy spojenú so stratami živín.

Poľnohospodárstvo

Nevhodné obhospodarovanie ornej pôdy je hlavnou príčinou degradácie pôdy poľnohospodárskou činnosťou človeka. Zahŕňa široké spektrum činností, akými sú: nevhodné používanie ťažkej obrábacej techniky, nevhodné alebo nadmerné používanie priemyselných hnojív, zanedbané hnojenie organickými hnojivami, nevhodné osevné postupy, nedostatočné používanie stabilizačných prvkov krajiny, používanie nekvalitnej vody na závlahy atď. Následne dochádza k utláčaniu pôdy, erózii (vodnej alebo veternej), stratám živín, zasoľovaniu, znečisteniu (pesticídmi a hnojivami).

Nadmerné spásanie

Okrem nadmerného úbytku vegetácie, ďalšou príčinou degradácie sú nadmerné počty dobytky a ušliapavanie pôdy. Výsledkom nadmerného spásania je utláčanie pôdy, alebo aj zmenšenie vegetačného pôdneho krytu. Oba tieto javy zvyšujú náchylnosť pôdy na vodnú a veternú eróziu, ale aj na zosuvy.

2.2 Aktuálny stav degradácie pôd

Celkovo je degradovaných 1 035,2 milióna hektárov pôd sveta (Harrison a Pearce, 2000), pričom priemyselná výroba sa podieľa 1 % na celkovej degradácii pôdy spôsobenej ľudskou činnosťou, iné spôsoby degradácie sa podieľajú 7 %, odlesnenie sa podieľa 30 %, poľnohospodárske využívanie pôdy 28 % a nadmerné spásanie sa podieľa 34 % na celkovej degradácii pôdy spôsobenej ľudskou činnosťou.

Podľa aktuálnych výsledkov monitoringu pôd Slovenskej republiky (2013 – 2017) (Kobza et al., 2019) sa v rámci degradačných procesov najvýraznejšie prejavuje erózia pôdy, čiže prejavy fyzikálnej degradácie pôd. Potenciálne sa prejavuje až na 52 % aktuálnej výmery poľnohospodárskej pôdy SR pri strate pôdy $>4 \text{ t.h}^{-1}.\text{rok}^{-1}$. Riziko zhutnenia pôd je spájané predovšetkým so zrnitostným zložením pôd a narastá v smere od piesočnatých pôd k ílovitým pôdam. Z chemickej degradácie je pozorovaná mierna acidifikácia predovšetkým na kyslých pôdach. Lokálne prejavy zasoľovania sú badateľné v oblasti južného, juhozápadného a juhovýchodného Slovenska. Z hľadiska živinového režimu pôd bolo zistené zníženie obsahu prístupných živín, predovšetkým P a K, priemerne o 10 – 30 %. Neboli zaznamenané žiadne zmeny v kontaminácii rizikovými prvkami v pôdach SR. Obsah pôdneho organického uhlíka sa v orných pôdach Slovenska pohybuje v intervale 1 – 2,5 % (Kobza et al., 2020). Rozdiely sú pozorované v závislosti od pôdneho typu. Výsledky posledného monitorovacieho cyklu poukazujú na jeho mierny pokles, okrem černoziemí.

3 Produkcia poľných plodín v kontexte klimatickej zmeny

Je všeobecne známe, že hlavnou úlohou poľnohospodárstva je zabezpečiť dostatok potravín pre ľudskú spoločnosť. V kontexte prebiehajúcej klimatickej zmeny je zabezpečenie tejto úlohy ešte náročnejšie, pretože sa poľnohospodárstvo musí prispôbovať dôsledkom klimatickej zmeny, ktorá ovplyvňuje klimatické pomery na celom svete. Zároveň musí vyvíjať snahu o zníženie vplyvu poľnohospodárskej činnosti na zmenu klímy a zavádzať vhodné mitigačné opatrenia.

Zvyšovanie množstva CO₂ v atmosfére, zvyšovanie globálnej priemernej ročnej teploty vzduchu, zmeny v úhrne a charaktere zrážok, či v ich časovej a priestorovej distribúcii majú spolu so zvyšujúcou sa frekvenciou extrémnych prejavov počasia dopad na kvantitu vody v krajine, pôdu, výskyt škodcov a chorôb, čo vedie k zmenám v stabilite produkcie potravín. V podmienkach SR sa očakáva prevažne negatívny vplyv klimatickej zmeny

na poľnohospodárstvo. V rámci Stratégie na adaptáciu SR na zmenu klímy sú definované nasledovné vplyvy a ohrozenia (MŽP SR, 2018):

- zmeny v druhovom zložení, počte a miestach výskytu škodlivých organizmov (chorôb, škodcov, burín), ale najmä v náraste počtu hospodársky významných škodlivých organizmov,
- zmeny teplotnej zabezpečenia rastlinnej výroby,
- zmeny fenologických pomerov a agroklimatického produkčného potenciálu,
- zmeny v rozdelení a množstve spadnutých zrážok a vlhkostnej zabezpečenia,
- zmeny podmienok prezimovania ozimín (absencie snehovej pokrývky),
- zmeny pôdnej diverzity a fyzikálnych a chemických vlastností pôdy,
- zvýšené riziko vzniku a prejavov veternej erózie,
- úplná zmena alebo strata produkcie poľnohospodárskych plodín a to najmä v dôsledku sucha.

Zvyšujúca koncentrácia CO₂ v atmosfére môže potenciálne viesť k nárastu produkcie niektorých plodín prostredníctvom zvýšenej fotosyntézy rastlín a prírastkov biomasy. Zvýšenie globálnej teploty vzduchu taktiež pozitívne ovplyvňuje posun produkčných pestovateľských oblastí v prospech severnejších oblastí Slovenska, umožňuje pestovanie nových teplomilnejších druhov plodín a vedie k predĺženiu hlavného vegetačného obdobia plodín (MŽP SR, 2018). Čimo et al. (2020) agroklimatickou analýzou obdobia 1981 – 2020 pre územie SR poukázali na skorší nástup vegetačného obdobia na jar, ale aj jeho neskoršie ukončenie a trend predlžovania potenciálnej dĺžky vegetačného obdobia. Napr. v horizonte 2091 – 2100 sa očakáva predĺženie dĺžky vegetačného obdobia v priemere o 15 – 20 dní v prípade papriky ročnej a kapusty obyčajnej hlávkovej a o 10 – 15 dní v prípade repy cviklovej.

Treba si však uvedomiť, že vyššie menované pozitívne dôsledky globálneho otepľovania na rastlinnú výrobu sú podmienené dostupnosťou prírodných zdrojov (voda a pôda). Navyše ďalšie dôsledky zmeny klímy sú pre poľné plodiny stresové faktory, čo sa následne odráža na výslednej úrode.

Nepriaznivé dôsledky zmeny klímy na poľnohospodárstvo je možné znížiť (za priaznivých podmienok úplne odstrániť) zavádzaním rôznych opatrení v rámci manažmentu poľnohospodárskej pôdy zameraných okrem iného na zlepšenie kvality pôdy. Ide najmä o využívanie pôdoochranných technológií prípravy pôdy pred sejbou poľných plodín, zvyšovanie vodozadržnej kapacity pôdy, zvýšenie zapracovania organickej hmoty do pôdy najlepšie v synergii s hnojením (napr. klasickými metódami maštalného hnoja a zeleného hnojenia) a pôdnymi prídavkami (napr. zeolity, biouhlie). Pre úspešnosť zavádzania pôdoochranných technológií je nevyhnutná ich komplexnosť a kontinuita systému. Bude potrebné využívať nové technológie spracovania pôdy (minimalizácia erózie pôdy, zhutnenia, zvýšenie obsahu organickej hmoty a retencie vody), upravovať vodný režim pôd, realizovať zúrodňovacie opatrenia pre zachovanie pôdnej úrodnosti (MŽP SR, 2018).

4 Problematika aplikácie biouhlia do pôdy – cieľ práce

Ak chceme na pôde efektívne a zároveň ekologicky hospodáriť, musíme poznať jej vlastnosti, príčiny prípadnej nízkej úrodnosti a spôsoby, ako ich odstrániť. Len takýto prístup umožňuje racionálne využívanie pôdneho fondu a dosiahnutie vysokej efektívnosti nákladov potrebných na stabilizáciu a zvyšovanie úrodnosti a produkčnej schopnosti pôd. Na zabezpečenie a udržanie bioenergetického potenciálu a prirodzenej úrodnosti našich pôd je potrebné zabezpečiť dostatočné vstupy kvalitných zdrojov organických látok, či už vo forme rastlinných zvyškov alebo kvalitných organických hnojív, čo v súčasnosti je značný problém. Čiastočne

riešenie je možné hľadať v iných dodatkových zdrojoch organických látok, napr. vo využívaní biologicky rozložiteľného odpadu z domácností prostredníctvom jeho spracovania, napr. karbonizáciou, kedy sa množstvo biologického odpadu podstatne zmenší. Navyše, vzniknutý vedľajší produkt, pokiaľ je získaný pyrolýzou, karbonizáciou alebo torifikáciou biologického odpadu neobsahujúceho škodlivé a zdraviu nebezpečné látky, môže byť aplikovateľný do pôdy, kde dokonca môže prinášať benefity. Aplikácia biouhlia v našich pôdno-klimatických podmienkach je stále spájaná s nedostatkom vedomostí ohľadom jeho pôsobenia ako mitigačného nástroja na eliminovanie emisií skleníkových plynov z pôdy do atmosféry a jeho vplyvu na pôdne vlastnosti, ale i na úrody pestovaných plodín.

Hlavným cieľom tejto podaktivity v rámci projektu SmartFarm bolo zhodnotenie inovatívneho prístupu úpravy pôdneho prostredia – aplikácie biouhlia z hľadiska emisií skleníkových plynov, ako aj z hľadiska kvality pôdy a úrod poľných plodín.

5 Metodika

5.1 Metodika poľného experimentu s biouhlím Dolná Malanta (Nitra)

Výskumný tím navrhovaného projektu disponuje poľným experimentom, kde je skúmaný vplyv aplikácie biouhlia (splňajúceho všetky environmentálne štandardy European Biochar Certificate-EBC) do pôdy na lokalite Dolná Malanta (Nitra), ktorý bol založený už v roku 2014. Tento dlhodobý experiment stále prebieha a sú na ňom pozorované aplikácie rôznych dávok biouhlia (0, 10 a 20 t.ha⁻¹) v kombinácii s rôznymi dávkami dusíkatých priemyselných hnojív (N0, N1 a N2) (prvá aplikácia biouhlia v r. 2014). Biouhlie bolo druhýkrát aplikované (reaplikované) v apríli 2018 na polovici pôvodných pokusných plôch (4 x 3 m) v rovnakých dávkach ako v roku 2014 (0, 10 a 20 t.ha⁻¹). Osevný postup zahŕňal jačmeň jarný (r. 2014, 2018 a 2023), kukuricu siatu (r. 2015, 2017, 2019, 2022), pšenicu letnú f. jarnú (r. 2016), pšenicu letnú f. ozimnú (r. 2021) a hrach siaty (r. 2020). Na uvedenom poľnom experimente boli skúmané nasledovné parametre:

- emisie skleníkových plynov (CO₂, N₂O),
- kvalita pôdy (fyzikálne, hydro-fyzikálne, chemické vlastnosti pôdy),
- úrody poľných plodín.

5.2 Metodika laboratórneho experimentu s biouhlím

Účinok aplikácie dvoch rôznych druhov biouhlia (1. biouhlie – pomalá pyrolýza „BC“; 2. biouhlie – rýchla pyrolýza „PYRO“) v dvoch rôznych dávkach (15 a 30 t.ha⁻¹) v kombinácii bez hnojenia a s hnojením dusíkom (90 kg N ha⁻¹) na emisie oxidu dusného (N₂O) a oxidu uhličitého (CO₂) bol skúmaný v laboratórnych podmienkach na dvoch textúrne odlišných pôdach (regozem: piesočnatá pôda a fluvizem: ílovito-hlinitá pôda).

5.3 Metodika poľných experimentov s biouhlíkovými substrátmi

V spolupráci s firmou Zdroje Zeme a. s., ktorá sa zaoberá výrobou biouhlíkových substrátov, sa testovali ich dva produkty v rozdielnych aplikačných dávkach a kombináciách s prídavným hnojením na zrnitostne odlišných pôdach (piesočnatá regozem a hlinitá černozem) v reálnych výrobných podmienkach. Osevný postup na piesočnatej pôde bol nasledovný: 1. slnečnica ročná, 2. pšenica tvrdá, 3. kukurica siata. Na hlinitej černozemi sa v 1. a 3. roku pestovala paprika ročná a v 2. roku repa cviklová.

Sledované boli nasledovné parametre:

- kvalita pôdy (fyzikálne, hydro-fyzikálne, chemické vlastnosti pôdy, živinový režim),
- úrody poľných plodín.

6 Aplikácia biouhlia do pôdy ako inovatívny prístup

6.1 Aplikácia biouhlia v poľných podmienkach ako nástroj na zníženie emisií oxidu dusného (N₂O) z pôdy

Zapracovanie biouhlia do pôdy (do hnedozeme / zrnitostne hlinitej pôdy) (biouhlie aplikované v r. 2014 a reaplikované v r. 2018) je účinným inovatívnym spôsobom znižovania emisií skleníkového plynu oxidu dusného (N₂O).

Výsledky meraní v roku 2018 preukázali, že aplikácia biouhlia bez hnojenia dusíkom znížila emisie oxidu dusného v roku 2018 v rozsahu od 20 – 28 % (Horák et al., 2021). Rovnako tak aplikácia biouhlia s nižšou dávkou dusíka (N1) znížila emisie N₂O v rozsahu od 3 – 34 % a rovnako tak došlo k zníženiu aj emisií N₂O pri kombinácii biouhlia s vyššou dávkou dusíka (N2) a to v rozsahu od 1 – 13 %. Zároveň výsledky poukázali na to, že reaplikované biouhlie intenzívnejšie redukovalo tieto emisie a to vo všetkých variantoch a úrovniach hnojenia. Aj výsledky meraní v nasledujúcom roku 2019 preukázali pozitívny vplyv aplikácie biouhlia, či už na variantoch bez hnojenia, resp. s vyššou dávkou hnojenia (N2) na zníženie emisií N₂O (Kotuš et al., 2022). V tomto roku, však tento trend nebol potvrdený pri kombinácii biouhlia s nižšou dávkou hnojenia dusíkom (N1).

6.2 Aplikácia biouhlia v laboratórnych podmienkach ako nástroj na zníženie emisií oxidu dusného (N₂O) z pôdy

Výsledky laboratórneho pokusu poukázali na fakt, že účinnejšie na znižovanie emisií N₂O bolo biouhlie vyrobené rýchlou pyrolýzou „PYRO“ v porovnaní s biouhlím vyrobeným pomalou pyrolýzou „BC“.

PYRO biouhlie bolo schopné štatisticky významne znížiť emisie N₂O pri oboch aplikačných dávkach (15 a 30 t.ha⁻¹) v kombinácii bez hnojenia aj s hnojením z textúrne ílovito-hlinitej pôdy. V prípade zrnitostne ľahkej pôdy bol tento efekt miernejší, PYRO biouhlie dokázalo znižovať emisie N₂O iba pri vyššej aplikačnej dávke (30 t.ha⁻¹). Biouhlie vyrobené pomalou pyrolýzou „BC“ nedokázalo znížiť emisie N₂O z ľahkých piesočnatých pôd a dokonca zvyšovalo tieto emisie v hnojených variantoch. Na druhej strane významne dokázalo znížiť emisie N₂O z ťažkých pôd (Balashov et al., 2021).

6.3 Aplikácia biouhlia ako nástroj na zlepšenie kvality pôdy

Je evidentné, že zapracovanie biouhlia do kyslej pôdy je účinný spôsob zvýšenia pH pôdy, ako to dokumentujú naše výsledky získané z hnedozeme – zrnitostne hlinitej pôdy. Už jedna aplikácia biouhlia môže poskytnúť značné benefity po dobu najmenej 4 vegetačných období pestovania plodín. Prvotná aplikácia biouhlia, ale i jeho reaplikácia má potenciál zvyšovať obsah pôdneho organického uhlíka na úrovni 4 – 50 %. Kombinácia biouhlia s N hnojením zvýšila obsah pôdneho organického uhlíka až na dvojnásobok. Fyzikálne vlastnosti pôdy pozitívne reagovali na aplikáciu biouhlia do pôdy, pretože bol pozorovaný zvýšený obsah vody v pôde, jej dostupnosť (z 1 na 15 %) a z 5 % na 95 % (0,42 – 2,64 cm h⁻¹) sa zvýšila hydraulická vodivosť (Horák et al., 2021). Aplikácia 15 t.ha⁻¹ biouhlia do piesočnatej pôdy viedla

k výraznému zvýšeniu obsahu vody v pôde, zvýšeniu objemu makropórov zadržiavajúcich vodu v pôde. Opačný efekt bol zistený pre ílovito-hlinitú pôdu. $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biouhlia významne zlepšilo prevzdušnenie ílovito-hlinitkej pôdy, čo súviselo so zväčšením objemu makropórov (Balashov et al., 2022). Pozitívny dopad na zmeny fyzikálnych vlastností ako aj ich vzťah medzi pH pôdy, sorpčnou kapacitou, pôdnou organickou hmotou a humusovými látkami na textúrne rozdielnych pôdach majú aj biouhlíkové substráty, resp. ich kombinácia s prídavným minerálnym či organickým hnojením. Rozsah zmien závisel predovšetkým od zrnitosti pôd, zloženia biouhlíkového substrátu, jeho aplikačnej dávky a kombinácie s ďalším hnojením. Celkovo boli výraznejšie zmeny fyzikálnych vlastností po aplikácii biouhlíkových substrátov pozorované skôr v piesočnatej pôde ako v hlinitkej pôde, avšak vyšší počet významných vzťahov medzi vlastnosťami pôdy po aplikácii biouhlíkových substrátov sa pozoroval v hlinitkej pôde a nie v piesočnatej pôde. Obsah pôdneho vzduchu, vodný režim, ako aj objemy kapilárnych a nekapilárnych pórov a štruktúra pôdy boli pozitívne ovplyvnené po aplikácii biouhlíkových substrátov bez pridania ďalších hnojív. Reakcia fyzikálnych vlastností pôdy zásadne závisela na zložení substrátu, pričom pozitívnejšia bola na biouhlíkový substrát s väčším pomerom stabilnejšej organickej hmoty v porovnaní s labilnejšou organickou hmotou v substráte. Z hľadiska aplikačnej dávky sa efektívnejšie javila dávka $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ v porovnaní s $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Šimanský et al., 2022a). Významný a pozitívnejší efekt biouhlíkových substrátov na pH pôdy a parametre sorpcie boli zistené v piesočnatej ako v hlinitkej pôde. Taktiež vyššia dávka testovaných substrátov bola efektívnejšia než nižšia dávka. Získané výsledky tiež ukázali, že biouhlíkové substráty a ich kombinácia s dodatočným hnojením zvýšila celkový obsah P v oboch zrnitostne odlišných pôdach. Zároveň biouhlíkové substráty v kombinácii s hnojením výrazne zvýšili obsah dostupného Ca v piesočnatej pôde a dostupného Mg v hlinitkej pôde. Ako ukázali výsledky výskumu, biouhlíkové substráty by sa dali aspoň čiastočne využiť ako vhodná náhrada nedostatočného prísunu niektorých živín, najmä fosforu. Je však mimoriadne dôležité riešiť dostupnosť P najmä na alkalických pôdach (Šimanský et al., 2022b).

6.4 Aplikácia biouhlia a vplyv na rast a úrody poľných plodín

Monitoring plodín pestovaných v poľných experimentálnych podmienkach Dolná Malanta (Nitra) na hlinitej hnedozemi bol realizovaný na základe priebežných zmien v množstve nadzemnej biomasy, ktoré boli určené nedeštruktívnou metódou spracovaním digitálnych fotografií porastu a výpočtom vegetačného indexu. Štatisticky významné zvýšenie vegetačného indexu bolo pozorované napr. pri kukurici siatej v júni 2015 na variante s $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biouhlia na prvej úrovni hnojenia (o +29 %) a s $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biouhlia na druhej úrovni hnojenia (o +42 %) a v máji 2017 na nehnojenom variante s $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biouhlia (o +53 %). Pri pšenici letnej f. jarnej bolo v apríli 2016 na variante s $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biouhlia na prvej úrovni hnojenia pozorované zvýšenie vegetačného indexu až o 329 % (Aydın, 2021). Kombinácia biouhlia s rôznymi dávkami dusíkatého hnojiva preukázala synergetický efekt jednorazovej aplikácie biouhlia a hnojiva, ktoré bolo aplikované každú sezónu. Nešlo teda o samotný vplyv zvyšujúcich sa dávok hnojenia (napr. Aydın, 2022).

Vo väčšine prípadov nemala aplikácia biouhlia efekt na výšku pestovaných rastlín. Štatisticky významné rozdiely boli zistené len veľmi ojedinele. Významne nižší porast bol pozorovaný len pri kukurici siatej v roku 2019 na nehnojenom variante s jednorazovou aplikáciou biouhlia v dávke $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (o -13 %) a na prvej úrovni hnojenia pri variantoch s jednorazovou aplikáciou $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biouhlia ako aj jeho reaplikáciou (o -19 %) (Aydın, 2021). Na druhej strane v roku 2022 bol na kukurici siatej pozorovaný významný pozitívny vplyv aplikácie aj reaplikácie biouhlia v dávke $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ na prvej úrovni hnojenia. Na konci

vegetačného rastu bolo na týchto variantoch pozorované zvýšenie výšky o +15 a +16 % (Krajčovičová, 2023).

Predpoklad, že aplikácia či reaplikácie biouhlia bude mať pozitívny vplyv na úrody vybraných poľnohospodárskych plodín pestovaných v klimatických podmienkach Slovenska sa potvrdil len čiastočne. Podobne ako tomu bolo pri úrodovných parametroch, efekt aplikácie biouhlia na úrody pestovaných plodín bol poväčšine len mierny (štatisticky nevýznamný) a neurčitý (tabuľka 1). Štatisticky významné ($P \leq 0,05$) zvýšenie úrod bolo zistené v roku 2019 na variante s $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ biouhlia na druhej úrovni hnojenia, kedy bola úroda kukurice vyššia o +71 % v porovnaní s hnojeným variantom bez biouhlia. V ostatných rokoch, či pri ostatných variantoch nemala aplikácia biouhlia efekt na dosiahnuté úrody (Aydin, 2021; Kotuš et al., 2022; Kučerová, 2022). Treba však podotknúť, že na druhej strane aplikácia biouhlia do pôdy nemala na úrody výrazný negatívny vplyv a nespôsobila štatisticky významné zníženie úrod.

Tabuľka 1 Zvýšenie alebo zníženie úrod (v %) na variantoch s biuhlím v porovnaní s kontrolnými variantmi na úrovniach hnojenia (bez aplikácie biouhlia) (Aydin, 2021)

Variant	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	jačmeň jarný	kukurica siata	pšenica letná f. jarná	kukurica siata	jačmeň jarný	kukurica siata
B10N0	+42	+2	-10	-18	-13	+7
B20N0	-11	-7	-4	-19	-15	+11
B10reapN1	x	x	x	x	-19	0
B20reapN1	x	x	x	x	+12	-26
B10N1	+4	+1	-10	-21	-28	-8
B20N1	-2	+6	+9	+16	-10	-7
B10reapN1	x	x	x	x	+5	-17
B20reapN1	x	x	x	x	+3	+11
B10N2	+18	+15	-1	-20	-17	+27
B20N2	+8	+24	+16	-13	+13	+71*
B10reapN2	x	x	x	x	-33	+29
B20reapN2	x	x	x	x	-19	+56

Poznámka: x – variant bol založený na jar 2018 opakovanou aplikáciou biouhlia; * rozdiel je štatisticky významný

Najväčší potenciál na zvyšovanie úrod aj 6 rokov po aplikácii biouhlia bol pozorovaný pri variante s $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ biouhlia na druhej úrovni hnojenia (B20N2). Potenciál tohto variantu zvyšuje aj fakt, že najvyššie zvýšenie úrod bolo zistené v roku 2019, čiže 6 rokov po aplikácii pôvodného biouhlia. Vysoké zvýšenie úrod v tomto roku (o +56 %) bolo zistené aj pri variante s opakovanou aplikáciou tej istej dávky biouhlia (B20reapN2) po predošlej mierne nižšej úrode (o -19 %) hneď po opakovanej aplikácii biouhlia v roku 2018. Z variantov s opakovanou aplikáciou biouhlia možno pozitívne hodnotiť aj variant s $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ biouhlia na prvej úrovni hnojenia (B20reapN1), pri ktorom však pozorované zvýšenie bolo menšie v rozsahu od +3 % do +11 % v porovnaní s kontrolným variantom (Aydin, 2021).

Ekonomická analýza aplikácie biouhlia naznačila, že všetky varianty s biuhlím použité v poľnom experimente Dolná Malanta (Nitra) boli ekonomicky neefektívne. Napriek tomu, že biouhlie zlepšilo viaceré sledované vlastnosti pôdy na experimentálnej ploche (napr. zvýšenie pH pôdy, zlepšenie sorpčných parametrov a pôdnej organickej hmoty), dosiahnuté úrody poľných plodín nesledovali zlepšujúci sa trend kvality pôdy. Konečné úrody sú okrem

hospodárenia na pôde výrazne ovplyvnené aj poveternostnými podmienkami, ktoré boli na skúmanej ploche vplyvom klimatickej zmeny často mimo optima pestovaných plodín (Aydin, 2021; Kučerová, 2022). Taktiež treba zdôrazniť, že z pohľadu udržateľného poľnohospodárstva je potrebné okrem ekonomického zisku prihliadať aj na ekosystémové služby. Z dlhodobého hľadiska je biouhlie perspektívne pôdne aditívum s mnohými benefítmi pre poľnohospodársku krajinu (sekvestrácia uhlíka a mitigácia klimatickej zmeny, zlepšenie vlastností pôdy, riešenie problému spracovania organických odpadov) (Šimanský et al., 2020).

7 Záver

Biouhlie eliminovalo N_2O z pôdy do atmosféry, pričom predovšetkým jeho vyššia dávka a následná reaplikácia mali najvýraznejší environmentálny benefit. Z hľadiska pôdnych vlastností sa ukázalo, že prvotná ale i opakovaná aplikácia biouhlia, taktiež aj biouhlíkové substráty, a ich kombinácie s prídavným hnojením zvyšujú obsah organického uhlíka v pôde. Dokonca v prípade kombinácie biouhlia a N hnojenia je tento efekt až dvojnásobný. Aplikované biouhlie do kyslej pôdy zvyšuje pH pôdy a zlepšuje sorpčnú schopnosť takýchto pôd. Biouhlíkové substráty aplikované do slabo alkalickkej pôdy zvyšovali (piesočnatá pôda) resp. nemali žiadny výrazný efekt (hlinitá pôda) na zmeny pH a sorpčnej schopnosti pôdy. Keďže pH biouhlíkových substrátov je alkalické, je tu predpoklad, že ich aplikácia do kyslých pôd môže byť riešením znižovania pôdnej acidity. Biouhlíkové substráty sú významným zdrojom organických látok s vyššou sorpčnou schopnosťou, a preto môže byť ich aplikácia, podľa zistení v tejto práci, využiteľná na aplikáciu do pôd s nižšou úrodnosťou, do pôd sorpčne nenasýtených a najmä zmitostne ľahkých. Predovšetkým biouhlíkové substráty sú cenným zdrojom najmä P, S a Mg. Avšak ich aplikácia môže znižovať prístupnosť niektorých mikroživín, ako napr. Fe predovšetkým v alkalických pôdach. Z hľadiska dostatočnej a zdraviu nezávadnej produkcie pestovaných plodín je veľmi dôležité poznať požiadavky rastlín na živiny. Ak majú byť biouhlie, či biouhlíkové substráty aplikované do pôdy ako zdroj živín, musí sa venovať zvýšená pozornosť obsahu makro a mikroživín v týchto pôdnych prídavkoch, pretože ich obsah živín môže byť značne nevyvážený. Dávky ostatných živín pridávané do pôdy by mali zohľadňovať požiadavky jednotlivých rastlín, pričom sa musí počítať aj so živinami uvoľnenými zo samotného biouhlia, či biouhlíkových substrátov v nasledujúcich rokoch. Biouhlie a biouhlíkové substráty významným spôsobom zlepšili aj fyzikálne vlastnosti pôdy, vrátane vodného režimu najmä piesočnatej pôdy, pričom efektívnejšie sa javilo pridanie samotných biouhlíkových substrátov v dávke $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ako v dávke $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Reakcia fyzikálnych vlastností zásadne závisela na zložení substrátu, pričom pozitívnejšia odozva bola na biouhlíkový substrát s väčším pomerom stabilnejšej organickej hmoty v porovnaní s labilnejšou organickou hmotou v substráte. Z hľadiska dosiahnutých úrod pestovaných plodín sa najvyšší potenciál a dokonca aj po 6 rokoch od aplikácie preukázal vo variante, kde bolo biouhlie aplikované jednorazovo v dávke $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, avšak s každoročným prídavným N hnojením na dvojnásobnej úrovni, ako boli požiadavky pestovaných rastlín na dosiahnutie plánovanej úrody.

Získané výsledky potvrdzujú potenciál biouhlia ako mitigačného a zároveň agronomického nástroja na zabezpečovanie udržateľného hospodárenia na pôde za predpokladu, že je vyrobené z organických látok neobsahujúcich rizikové prvky. Avšak, zdá sa byť podstatné zohľadňovať najmä jeho vlastnosti, aplikačnú dávku, prípadne jeho reaplikáciu, vlastnosti pôdy, ostatné poľnohospodárske postupy a celkový manažment. Pre jeho úplnú akceptáciu v bežnej agronomickej praxi je nutné vyriešiť ešte otázku jeho ekonomickej efektívnosti začínajúc od jeho výroby, cez aplikáciu do pôdy a končiac nielen pri benefítoch pre poľnohospodárov, ale i životné prostredie. Podľa našich vedomostí je poľnohospodárska

prax aktívna vo vyhľadávani takéhoto druhu informácií. Vedomosti o optimálnej aplikačnej dávke biouhlia, jeho reaplikácii či kombinácii s inými hnojivami, ich hospodárnosť a životaschopnosť v rôznych pôdno-klimatických podmienkach sa stávajú veľmi dôležité, pretože poľnohospodári začínajú chápať limity intenzívnej rastlinnej výroby. Veríme, že tento metodický pokyn prispeje k zvýšeniu povedomia a vyplní vedomostné medzery v problematike „biouhlie“ v rámci Slovenskej republiky.

Použitá literatúra

1. AYDIN, Elena. 2021. *Vplyv dlhodobého účinku aplikácie biouhlia a krátkodobého účinku jeho opakovanej aplikácie v kombinácii s hnojením na úrody vybraných plodín*. Habilitačná práca. Nitra: SPU v Nitre, FZKI. 161 s. Dostupné na: <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioFormChildE4OJD&sid=983A108C82E0ACEA9758796AE8A0&seo=CRZP-detail-kniha>
2. AYDIN, Elena. 2022. The potential of biochar and compost mixture to increase the maize canopy during the vegetative season. In *Proceedings of 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2022* (online). Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology, pp. 361-367. Dostupné na: <https://doi.org/10.5593/sgem2022/2.1/s10.43>
3. BAGGS, E. M. et al. 2000. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. In *Soil Use and Management*. (online), vol. 16, pp. 82-87. Dostupné na: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1475-2743.2000.tb00179.x>
4. BALASHOV, Eugene - BUCHKINA, Natalya; ŠIMANSKÝ, Vladimír a HORÁK, Ján. 2021. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on N₂O emissions and water availability of two soils with high water-filled pore space. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. (online), vol. 69, no. 4, pp. 467-474. Dostupné na: <https://doi.org/10.2478/johh-2021-0024>
5. BALASHOV, Eugene; BUCHKINA, Natalya; ŠIMANSKÝ, Vladimír a HORÁK, Ján. 2022. Effects of slow pyrolysis biochar on CO₂ emissions from two soils under anaerobic conditions. In *Agriculture-Basel*. (online), vol. 12, no. 7, pp. 1028. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/agriculture12071028>
6. BØCKMAN, Oluf Chr. a OLFS, Hans-Werner. 1998. Fertilizers, agronomy and N₂O. In *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. (online) vol. 52, pp. 165-170. Dostupné na: <https://doi.org/10.1023/A:1009736327495>
7. BREMNER, John M. 1997. Sources of nitrous oxide in soils. In *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. (online), vol. 49, no. 1-3, pp. 7-16. Dostupné na: <https://doi.org/10.1023/A:1009798022569>
8. BRENTRUP, Frank et al. 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. In *Int. J. LCA*. (online), vol. 5, no. 6, pp. 349-357. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/BF02978670>

9. CAMERON, Keith C.; DI, Hong Jie a MOIR, Jim. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system. In *Annals of Applied Biology*. (online), vol. 162, no. 2, pp. 145-173. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/aab.12014>
10. ČIMO, Ján; ŠINKA, Karol; TÁRNÍK, Andrej; AYDIN, Elena; KIŠŠ, Vladimír a TOKOVÁ Lucia. 2020. Impact of climate change on vegetation period of basic species of vegetables in Slovakia. In *Journal of Water and Land Development*. (online), no. 47 (X–XII), pp. 38-46. Dostupné na: <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.135030>
11. DAVIDSON, Eric A. a SWANK, Wayne T. 1986. Environmental parameters regulating gaseous nitrogen losses from two forested ecosystems via nitrification and denitrification. In *Appl. Environ. Microbiol.* (online), vol. 52, no. 6, pp. 1287-1292. Dostupné na: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.52.6.1287-1292.1986>
12. EÚ. 2006. Oznámenie Komisie Rade, Európskemu parlamentu, Európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru regiónov - Tematická stratégia na ochranu pôdy [SEK(2006)620] [SEK(2006)1165]. KOM/2006/0231 v konečnom znení.
13. GIACOMINI, Sandro José et al. 2006. Nitrous oxide emissions following pig slurry application in soil under no-tillage system. In *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, vol. 41, no. 11, pp. 1653-1661.
14. HARRISON, Paul a PEARCE, Fred. 2000. *Atlas of population and environment*. Los Angeles: University California Press. 215 p. ISBN 0-520-23081-7.
15. HORÁK, Ján; KOTUŠ, Tatijana; TOKOVÁ, Lucia; AYDIN, Elena; IGAZ, Dušan a ŠIMANSKÝ, Vladimír. 2021. A sustainable approach for improving soil properties and reducing N₂O emissions is possible through initial and repeated biochar application. In *Agronomy-Basel*. (online), vol. 11, no. 3, pp. 582. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030582>
16. KOBZA, Jozef; BARANČÍKOVÁ, Gabriela; DODOK, Rastislav; MAKOVNÍKOVÁ, Jarmila; PÁLKA, Boris; STYK, Ján a ŠIRÁŇ, Miloš. 2019. *Monitoring pôd SR. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd ako podklad k ich ochrane a ďalšiemu využívaniu (2013 – 2017)*. Bratislava: Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy. 254 s. ISBN 978-80-8163-033-0.
17. KOBZA, Jozef; BARANČÍKOVÁ, Gabriela; DODOK, Rastislav; MAKOVNÍKOVÁ, Jarmila; PÁLKA, Boris; STYK, Ján a ŠIRÁŇ, Miloš. 2020. *Monitoring pôd Slovenskej republiky: (aktuálny stav a vývoj vlastností pôd podľa ich ohrození)*. Bratislava: Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum - Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy. 49 s. ISBN 978-80-8163-036-1.
18. KOTUŠ, Tatijana; ŠIMANSKÝ, Vladimír; DRGOŇOVÁ, Katarína; ILLÉŠ, Marek; WÓJCIK-GRONT, Elżbieta; BALASHOV, Eugene; BUCHKINA, Natalya; AYDIN, Elena a HORÁK, Ján. 2022. Combination of biochar with N–fertilizer affects properties of soil

- and N₂O emissions in maize crop. In *Agronomy-Basel*. (online), vol. 12, no. 6, pp. 1314. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061314>
19. KRAJČOVIČOVÁ KRISTÍNA. 2023. *Vplyv vybraných pôdnych aditív na rast poľnohospodárskej plodiny počas vegetačného obdobia*. Bakalárska práca (online). Nitra: SPU v Nitre, FZKI. 45 s. Dostupné na: <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioFormChildQ4LNUO&sid=72C4190EA10FC8F711D002D508EF&seo=CRZP-detail-kniha>
 20. KUČEROVÁ, Romana. 2022. *Vplyv aplikácie biouhlia na úrodu pšenice letnej formy ozimnej*. Bakalárska práca (online). SPU v Nitre. 38 s. Dostupné na: <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioFormChildG4L5N&sid=7E432E204D1F6C329A5D823802D8&seo=CRZP-detail-kniha>
 21. MŽP SR. 2018. *Stratégia na adaptáciu Slovenskej republiky na zmenu klímy – aktualizácia 2018*. (online). Dostupné na: <https://www.minzp.sk/files/odbor-politiky-zmeny-klimy/strategia-adaptacie-sr-zmenu-klimy-aktualizacia.pdf> [cit. 2022-10-10].
 22. POLLÁKOVÁ, Nora; SOBOCKÁ, Jaroslava; ŠIMANSKÝ, Vladimír; CHLPÍK, Juraj a KOLENČÍK, Marek. 2021. *Antropizácia pôdy*. 2. nezmen. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 399 s. ISBN 978-80-552-2292-9.
 23. SNYDER, Clifford S. et al. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. In *Agriculture, Ecosystems & Environment*. (online), vol. 133, no. 3-4, pp. 247-266. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
 24. ŠIMANSKÝ, Vladimír; AYDIN, Elena; IGAZ, Dušan a HORÁK, Ján. 2020. Potential application of biochar depends mainly on its profits for farmers: case study in Slovakia. In *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. (online), vol. 66, no. 4, pp. 171-176. Dostupné na: <https://doi.org/10.2478/agri-2020-0016>
 25. ŠIMANSKÝ, Vladimír; HORÁK, Ján a BORDOLOI, Sanandam. 2022a. Improving the soil physical properties and relationships between soil properties in arable soils of contrasting texture enhancement using biochar substrates: Case study in Slovakia. In *Geoderma Regional*. (online), vol. 28, pp. e443. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00443>
 26. ŠIMANSKÝ, Vladimír; AYDIN, Elena a HORÁK, Ján. 2022b. Is it possible to control the nutrient regime of soils with different texture through biochar substrates? In *Agronomy-Basel*. (online), vol. 12, no. 1, pp. 51. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010051>
 27. TAN, Ivy Y. S. et al. 2009. Single-event nitrous oxide losses under maize production as affected by soil type, tillage, rotation, and fertilization. In *Soil and Tillage Research*. (online), vol. 102, no. 1, pp. 19-26. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.06.005>

28. Zákon č. 220/2004 Z. z. z 10. marca 2004 o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov
29. ZHANG, Jinfeng a HAN, Xingguo. 2008. N₂O emission from the semi-arid ecosystem under mineral fertilizer (urea and superphosphate) and increased precipitation in northern China. In *Atmospheric Environment*. (online), vol. 42, no. 2, pp. 291-302. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.036>

Metodika inovatívnych prístupov úpravy pôdneho prostredia za účelom zníženia emisií skleníkových plynov, zabránenia degradácii pôdy bez negatívneho, resp. s pozitívnym dopadom na úrody plodín v podmienkach očakávanej klimateckej zmeny

Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva

Fakulta agrobiológie a potravinových zdrojov

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vydanie: prvé

Forma vydania: online

Rok vydania: 2023

Počet strán: 17

AH – VH: 1,16 – 1,24

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

ISBN 978-80-552-2631-6