



N P P C

NÁRODNÉ POĽNOHOSPODÁRSKE
A POTRAVINÁRSKE CENTRUM

**TESTOVANIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA
ZLEPŠENIE PÔDNEJ BIOLÓGIE, ORGANICKEJ HMOTY
A OBSAHU ŽIVÍN V PÔDE**

SPRÁVA Z POĽNÉHO POKUSU

2026

**TESTOVANIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA
ZLEPŠENIE PÔDNEJ BIOLÓGIE, ORGANICKEJ HMOTY
A OBSAHU ŽIVÍN V PÔDE**

SPRÁVA Z POĽNÉHO POKUSU

Názov: Testovanie aplikácie organických hnojív na zlepšenie pôdnej biológie, organickej hmoty a obsahu živín v pôde

Správa z poľného pokusu

Autori: RNDr. Igor Danielovič, PhD.
Ing. Božena Šoltysová, PhD.
Ing. Ladislav Kováč, PhD.
Mgr. Katarína Ondreičková, PhD.

Nerecenzované

Podakovanie

Táto správa vznikla vďaka podpore v rámci projektu č. 19R01-18-P01-00001 „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového biohospodárstva“ (Repower).

OBSAH

ÚVOD	6
1. MATERIÁL A METÓDY	7
1.1 Charakteristika pokusnej lokality	7
1.2 Charakteristika klimatických pomerov na pokusnej lokalite	7
1.3 Charakteristika pôdnych pomerov pokusnej lokality	9
1.4 Spôsob založenia pokusov	10
1.5 Sledované parametre	13
2. EFEKT APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA SLEDOVANÉ PARAMETRE	17
2.1 Hodnotenie produkčných a kvalitatívnych parametrov zrna kukurice siatej (<i>Zea mays</i> L.)..	17
2.2 Vplyv aplikácie organických hnojív na pôdne prostredie	19
2.2.1 Biologické parametre pôdy – mikrobiálna diverzita	19
2.2.2 Organická hmota v pôde	25
2.2.3 Chemické parametre pôdy	26
2.2.4 Fyzikálne parametre pôdy	28
3. ZÁVER – ODPORÚČANÉ TECHNOLOGIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV	31
4. POUŽITÁ LITERATÚRA	33

ÚVOD

Pôda je základnou zložkou životného prostredia a neobnoviteľným a nenahraditeľným prírodným zdrojom. Pri jej intenzívnom využívaní sa však stáva ľahko zničiteľným prírodným zdrojom. Základným cieľom udržateľného rozvoja je rozumné hospodárenie na pôde s udržaním jej základných vlastností na optimálnej úrovni. Zdravá pôda je základom úspešného rastu rastlín, keď poskytuje pestovaným plodinám mechanickú oporu, zásobuje ich vodou, vzduchom a minerálnymi živinami.

Človek využíva pôdu a táto jeho aktivita je plošne najrozsiahlejšou. Pri tomto plošnom využívaní pôdy sa do popredia dostávajú dva najdôležitejšie záujmy človeka, ktorými sú výroba potravín a ochrana a tvorba životného prostredia. V súvislosti so štrukturálnymi zmenami spoločnosti, nielen v poľnohospodárstve, je potrebné si uvedomiť, že trvalá udržateľnosť je najnovšou a v súčasnosti jedinou koncepciou budúcnosti ľudstva (Fazekašová, Poráčová, 1999).

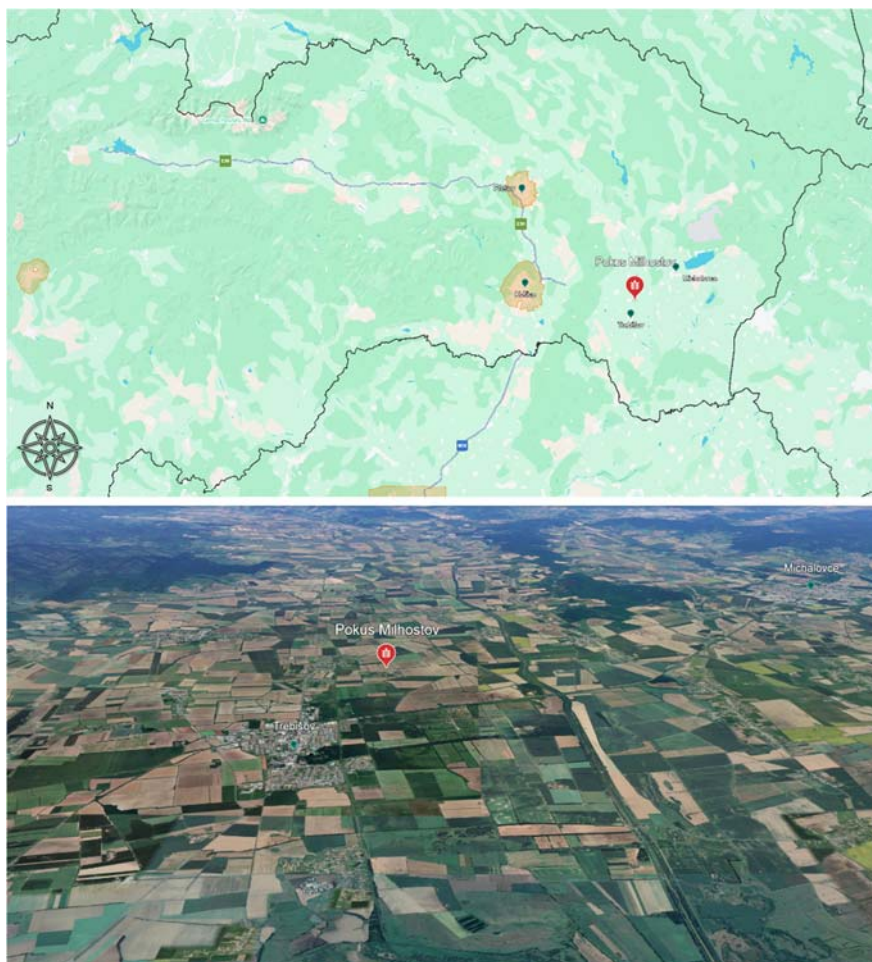
K trvalej udržateľnosti krajiny, životného prostredia a pôdy prispieva aj výrazné rozšírenie využitia organických hnojív v agrárnej praxi. Okrem tradične využívaných organických hnojív ako je napr. maštalný hnoj, hnojovica, komposty sa rozširuje sortiment ponúkaných organických hnojív rôzneho pôvodu a zloženia od mnohých výrobcov. Organické hnojivá sú rozličné látky rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Sú to plnohodnotné hnojivá, pretože na ich zložení sa zúčastňujú tie isté látky, ktoré sa zúčastňujú na tvorbe rastlinnej hmoty. Vo všeobecnosti organické hnojivá obsahujú uhlíkovú maticu organických biologických látok (prítomných v maštalnom hnoji, komposte, rastlinných pozberových zvyškoch, zelenom hnojení a pod.), ktorá je nenahraditeľná pre formovanie pôdnej štruktúry, sorpčného komplexu a humusu. Vytvára potenciálne zdroje živín a zodpovedá za mikrobiologickú aktivitu a pôdnu úrodnosť.

Cieľom správy je vyhodnotiť rôzne technologické postupy aplikácie organických hnojív z aspektu ich vplyvu nielen na produkčné a kvalitatívne parametre plodiny, ale najmä na pôdu – biologický život v pôde, chemické a fyzikálne parametre.

1. MATERIÁL A METÓDY

1.1 Charakteristika pokusnej lokality

Experimentálne pracovisko Milhostov sa nachádza v centrálnej časti Východoslovenskej nížiny v nadmorskej výške 101 m (48°40' s. š.; 21°44' v. d.) severozápadne od okresného mesta Trebišov (Obr. 1).



Obr. 1 Experimentálne pracovisko Milhostov (zdroj: Excel enterprise, s.r.o.)

1.2 Charakteristika klimatických pomerov na pokusnej lokalite

Experimentálne pracovisko patrí podľa Linkeša et al. (1996) do teplého a veľmi suchého nížinného kontinentálneho klimatického regiónu T 03. V tabuľke 1 je uvedené porovnanie mesačnej priemernej teploty vzduchu v roku 2025 s dlhodobým normálom z rokov 1981 – 2010 (Danilovič, Hlavatá a Šoltysová, 2017).

Teplota vzduchu v roku 2025, s výnimkou mesiaca máj, bola normálna alebo vyššia ako je dlhodobý normál. Počas vegetácie kukurice boli podľa hodnotenia mesiace júl a august teplotne normálne, apríl bol nadnormálny, jún a september boli silne nadnormálne a jediný mesiac máj bol teplotne silne podnormálny. Teplota v októbri bola normálna, ale to už nemalo zásadný vplyv na porast kukurice a pôdne parametre. V zásade je možné pestovateľský ročník 2025 počas vegetácie hodnotiť ako mimoriadne nadnormálny a celý rok silne nadnormálny.

Priemerná teplota vzduchu v priebehu roka bola o 1,5 °C vyššia a počas vegetácie o 1,0 °C vyššia než je dlhodobý normál.

Tabuľka 1 Porovnanie mesačnej priemernej teploty vzduchu [°C] v roku 2025 s dlhodobým normálom

Mesiac	DN	2025	Odchýlka od DN	Hodnotenie
I.	2,2	1,5	3,7	SNN
II.	-0,8	-0,7	0,1	N
III.	4,3	7,1	2,8	NN
IV.	10,4	11,6	1,2	NN
V.	15,5	12,9	-2,6	SPN
VI.	18,4	21,3	2,9	SNN
VII.	20,4	21,4	1,0	N
VIII.	19,8	20,7	0,9	N
IX.	14,8	17,4	2,6	SNN
X.	9,3	9,1	-0,2	N
XI.	3,7	5,4	1,7	NN
XII.	-1,0	3,3	4,3	SNN
\bar{x} I.-XII.	9,4	10,9	1,5	SNN
\bar{x} IV.-IX.	16,6	17,6	1,0	NN

kde: DN – dlhodobý normál za roky 1981 – 2010, \bar{x} – priemer, MPN – mimoriadne podnormálny / mimoriadne chladný, SPN – silne podnormálny / veľmi chladný, PN – podnormálny / chladný, N – normálny, NN – nadnormálny / teplý, SNN – silne nadnormálny / veľmi teplý, MNN – mimoriadne nadnormálny / mimoriadne teplý

Tabuľka 2 Porovnanie mesačnej sumy zrážok [mm] v rokoch 2025 s dlhodobým normálom

Mesiac	DN	2025	% DN	Hodnotenie
I.	23	25,1	109,1	N
II.	26	12,2	46,9	PN
III.	29	53,1	183,1	NN
IV.	41	31,2	76,1	N
V.	66	62,1	94,1	N
VI.	67	10,7	16,0	SPN
VII.	77	81,6	106,0	N
VIII.	66	76,5	115,9	N
IX.	57	72,3	126,8	N
X.	41	45,6	111,2	N
XI.	37	69,0	186,5	SNN
XII.	37	4,5	12,2	SPN
Σ I.-XII.	567	543,9	95,9	N
Σ IV.-IX.	374	334,4	89,4	N

kde: DN – dlhodobý normál za roky 1981 – 2010, MPN – mimoriadne podnormálny / mimoriadne suchý, SPN – silne podnormálny / veľmi suchý, PN – podnormálny / suchý, N – normálny, NN – nadnormálny / vlhký, SNN – silne nadnormálny / veľmi vlhký, MNN – mimoriadne nadnormálny / mimoriadne vlhký, Σ – suma

Pri hodnotení zrážkových pomerov počas vegetácie od apríla do konca septembra môžeme skonštatovať normálny priebeh zrážkovej činnosti s výnimkou mesiaca júna. Veľmi podnormálny jún s úhrnom zrážok len 16,0 mm negatívne vplýval na vývoj porastu kukurice. V tomto mesiaci je kukurica mimoriadne náročná na vlahu, čo ovplyvnilo aj výsledné úrody kukurice.

Úhrn zrážok v priebehu vegetácie bol na úrovni 89,4 % dlhodobého normálu a počas celého roka 2025 dokonca na úrovni 95,9 % dlhodobého normálu.

1.3 Charakteristika pôdných pomerov pokusnej lokality

Na území pokusnej lokality sa nachádzajú fluvizeme glejové (FM_G), ktoré vznikli v dôsledku dlhodobého pôsobenia podzemnej a povrchovej vody na veľmi ťažkých aluviálnych sedimentoch s nepriaznivými fyzikálnymi, hydrofyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Agronomické vlastnosti týchto pôd sú podmienené hlavne podielom ílovitých častíc v celom pôdnom profile, resp. iba v podornici. Fluvizeme glejové v Milhostove sú ťažké, ílovito-hlinité pôdy s priemerným obsahom ílovitých častíc vyšším ako 53 %. Ornica je hrudkovitej štruktúry s vysokou pútačou schopnosťou a je ťažko priepustná v celom profile. V pôdnom profile v hĺbke 0,7 – 0,8 m sa nachádza tmavosivý až žltosivý íl. Vysoký obsah ílovitých častíc významne ovplyvňuje ich agronomické vlastnosti.

Pokus s aplikáciou organických hnojív bol založený na fluvizeme glejovej, ktorej zrnitostné zloženie do hĺbky 0,3 m je uvedené v tabuľke 3. Hlavné zrnitostné frakcie jemnozeme sú nasledovné: 1. frakcia – íl (< 0,001 mm), 2. frakcia – jemný a stredný prach (0,001 – 0,01 mm), 3. frakcia – hrubý prach (0,01 – 0,05 mm), 4. frakcia – jemný piesok (0,05 – 0,25 mm), 5. frakcia – stredný piesok (0,25 – 2,00 mm). Obsah zŕn I. kategórie (< 0,01 mm) bol určený ako súčet 1. a 2. frakcie, t.j. súčet obsahu ílu a jemného a stredného prachu. Z pohľadu zrnitostného zloženia sa jedná o pôdu ťažkú ílovito-hlinitú s priemerným obsahom ílovitých častíc 51,43 %.

Tabuľka 3 Priemerné zrnitostné zloženie pôdy [%] na pokusnej lokalite v hĺbke 0,0 – 0,3 m

Ø zŕn [mm]					
<0,001	0,001-0,01	0,01 – 0,05	0,05 – 0,25	0,25 – 2,0	< 0,01
29,19	22,24	31,99	14,49	2,09	51,43

Základné priemerné chemické parametre ornice pokusného stanovišťa sú nasledovné: dobrá zásoba prístupného fosforu (priemerne 100 mg.kg⁻¹), vyhovujúca zásoba prístupného draslíka (priemerne 250 mg.kg⁻¹), dobrá zásoba prístupného horčíka (priemerne 300 mg.kg⁻¹) a prístupného vápnika (priemerne 3700 mg.kg⁻¹), výmenná pôdna reakcia (pH/KCl) je slabo kyslá (priemerne 5,8), obsah humusu v strednej zásobe (2,5 %), typ humusu je humátovo-fulvátový až fulváto-humátový.

Hodnoty základných fyzikálnych vlastností skúmaného pôdneho prostredia sa pohybujú v nasledujúcom rozmedzí: merná hmotnosť 2600 – 2650 kg.m⁻³, objemová hmotnosť 1400 – 1640 kg.m⁻³ a pórovitosť 39 – 44 %. Hydrofyzikálne charakteristiky pôdneho prostredia sú v súlade s fyzikálnymi vlastnosťami. Hodnoty poľnej vodnej kapacity, vyjadrenej ako maximálna kapilárna vodná kapacita, sa v pôdnom profile pohybujú v rozpätí 35 – 40 % a hodnoty využiteľnej vodnej kapacity 13 – 17 %.



Obr. 3 Pokus s kukuricom siatou

Tabuľka 4 Varianty aplikácie organických hnojív

Variant/ ošetrenie	1	2	3	4	5
<p>3.listová výživa</p> <p>Aplikačná dávka/ha</p>		<p>MICROFERTILE 20 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 10-12 listov)</p>	<p>EXTRAKT Z KVALITNÉHO VYZRETÉHO KOMPOSTU 10 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 10-12 listov)</p>	<p>EXTRAKT Z KVALITNÉHO VYZRETÉHO KOMPOSTU 10 l/ha + MICROFERTILE 10 l/ha</p> <p>(fáza kukurice: 10-12 listov)</p>	<p>MICROFERTILE 20 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 10-12 listov)</p>
<p>2.listová výživa</p> <p>Aplikačná dávka/ha</p>		<p>MICROFERTILE 10 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 6-8 listov)</p>	<p>EXTRAKT Z KVALITNÉHO VYZRETÉHO KOMPOSTU 10 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 6-8 listov)</p>	<p>EXTRAKT Z KVALITNÉHO VYZRETÉHO KOMPOSTU 10 l/ha + MICROFERTILE 10 l/ha</p> <p>(fáza kukurice: 6-8 listov)</p>	<p>MICROFERTILE 10 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 6-8 listov)</p>
<p>1.listová výživa</p> <p>Aplikačná dávka/ha</p>		<p>MICROFERTILE 20 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 3-4 listy)</p>	<p>EXTRAKT Z KVALITNÉHO VYZRETÉHO KOMPOSTU 10 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 3-4 listy)</p>	<p>EXTRAKT Z KVALITNÉHO VYZRETÉHO KOMPOSTU 10 l/ha + MICROFERTILE 10 l/ha</p> <p>(fáza kukurice: 3-4 listy)</p>	<p>MICROFERTILE 20 l/ha v 200 l vody</p> <p>(fáza kukurice: 3-4 listy)</p>
<p>Výživa pôdy</p> <p>Aplikačná dávka/ha</p>	<p>nehnojená kontrola</p>	<p>ODPADOVÝ KOMPOST 40 t/ha</p> <p>(pred založením pokusov, zapracovať do pôdy)</p>	<p>KVALITNÝ VYZRETÝ KOMPOST 40 t/ha</p> <p>(pred založením pokusov, zapracovať do pôdy)</p>	<p>EXTRAKT Z KVALITNÉHO VYZRETÉHO KOMPOSTU 10 l/ha + ECOFERTILE 10 l/ha v 200 l vody</p> <p>(pred sejbou, zapracovať do pôdy)</p>	<p>ECOFERTILE 50 l/ha v 200 l vody</p> <p>(pred sejbou, zapracovať do pôdy)</p>

pokračovanie tabuľky 4

Variant/ ošetrenie	6	7	8	9
3.listová výživa Aplikačná dávka/ha	ROKOHUMÍN 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 10-12 listov)	ROKOHUMÍN 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 10-12 listov)	VermiVital KUKURICA 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 10-12 listov)	
2.listová výživa Aplikačná dávka/ha	ROKOHUMÍN 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 6-8 listov)	ROKOHUMÍN 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 6-8 listov)	VermiVital KUKURICA 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 6-8 listov)	LAV 222 kg/ha (27 % N) (60 kg/ha N) (fáza kukurice: 6-8 listov)
1.listová výživa Aplikačná dávka/ha	ROKOHUMÍN 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 3-4 listy)	ROKOHUMÍN 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 3-4 listy)	VermiVital KUKURICA 5 l/ha v 200 l vody (fáza kukurice: 3-4 listy)	
Výživa pôdy Aplikačná dávka/ha	ROKOLAN 50 l/ha v 200 l vody (pred sejbou, zapracovať do pôdy)	EFFECO BY ZZ 10 t/ha (pred sejbou, zapracovať do pôdy 10-15 cm)	REVITAL 16 l/ha v 32 l vody (pred sejbou, zapracovať do pôdy)	NPK 200 kg/ha (30 kg/ha N, 13,1 kg/ha P, 25 kg/ha K) (pred sejbou, zapracovať do pôdy)

1.5 Sledované parametre

Poľné sledovania boli vykonané na experimentálnom pracovisku v Milhostove a laboratórne analýzy na pracovisku v Michalovciach.

Priemerné teploty vzduchu a úhrny zrážok: Podklady (priemerné teploty vzduchu a úhrny zrážok) boli získané z meteorologickej stanice Slovenského hydrometeorologického ústavu. Údaje sa porovnávali s dlhodobým normálom (1981 – 2010) (Danilovič et al., 2017).

Úrody ($t \cdot ha^{-1}$) zrna kukurice: Úrody kukurice boli zisťované z každého variantu a opakovania.

Kvalitatívne parametre zrna kukurice: z kvalitatívnych parametrov sa v laboratóriu zisťoval obsah dusíkatých látok a škrobu (Javorský a kol., 1987). Obidva parametre boli prepočítané na sušinu.

- obsah dusíkatých látok v zrne bol stanovený Kjeldahlovou metódou,
- obsah škrobu v zrne bol stanovený podľa Ewersa,
- sušina bola stanovená gravimetricky.

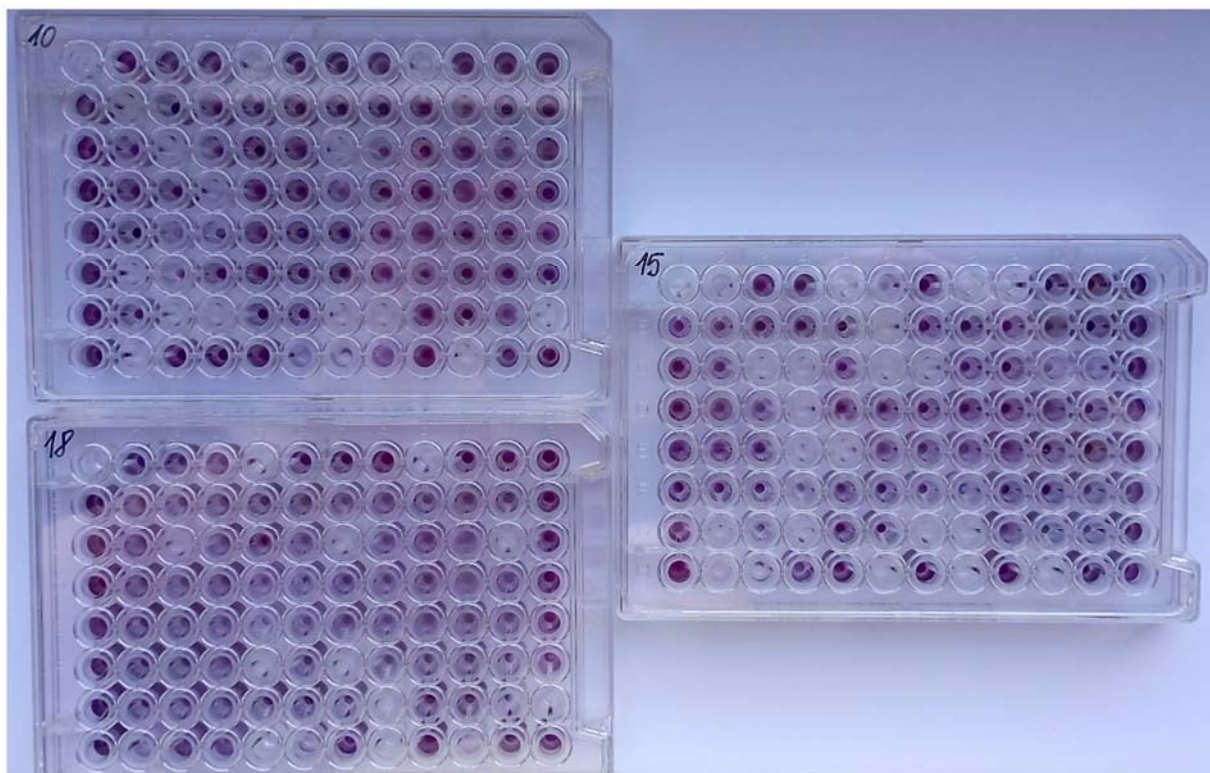
Mikrobiálna biomasa

Pôdne vzorky z rizosféry kukurice boli odoberané v dvoch vegetačných termínoch – vo fáze kvitnutia a v čase plnej zrelosti kukurice – na experimentálnom poľnom pokuse v lokalite Milhostov (okr. Trebišov). Z každého variantu ošetrovania pôdy boli odobraté tri nezávislé biologické opakovania. Mikrobiálna biomasa pôdy bola stanovená na základe koncentrácie izolovanej metagenomickej DNA. Izolácia DNA bola vykonaná zo zmrazených pôdnych vzoriek pomocou komerčného kitu DNeasy PowerSoil Pro Kit (Qiagen). Pri izolácii bola zaznamenaná presná hmotnosť použitej pôdy, čo umožnilo následný prepočet výslednej koncentrácie DNA na jednotku pôdy ($\mu\text{g DNA/g pôdy}$). Koncentrácia extrahovanej DNA bola určená fluorometricky pomocou Qubit fluorometra. Získané hodnoty DNA slúžili ako relatívny indikátor mikrobiálnej biomasy v pôde.

Metabolická aktivita mikroorganizmov (CLPP metóda)

Metabolická aktivita pôdnych mikroorganizmov bola hodnotená pomocou metódy CLPP (Community Level Physiological Profiling) využitím Biolog EcoPlate™, ktoré obsahujú 31 uhlíkových substrátov v troch opakovaniach*. Pre prípravu inokula bol 1 g pôdy zriedený v 9 ml Ringerovho roztoku (10^{-1}), trepaný 30 min pri 200 rpm, nechán sedimentovať 15 min pri 4 °C a následne riedený na 10^{-3} . Z tohto riedenia bolo do každej jamky EcoPlate aplikovaných 150 μl inokula. Platničky boli inkubované pri 25°C a 50 rpm po dobu 7 dní. Absorbancia (OD) bola meraná pri 590 nm v časoch 0 h a následne v 24-hodinových intervaloch až do 168 h (7 dní kultivácie). Namerané hodnoty boli korigované o hodnoty blanku a na ich základe bola vypočítaná priemerná hodnota AWCD (Average Well Colour Development). Z konečných hodnôt OD po 168 h bol vypočítaný aj Shannonov index (H') ako ukazovateľ funkčnej metabolickej diverzity mikrobiálneho spoločenstva.

Princíp metódy CLPP: Metóda CLPP predstavuje prístup hodnotenia metabolickej aktivity mikroorganizmov v pôde na základe ich schopnosti využívať rôzne zdroje uhlíka. Ide o funkčný mikrobiologický test, ktorý umožňuje získať informáciu o tom, aké typy organických látok sú mikroorganizmami v pôde preferenčne metabolizované, a teda poskytuje obraz o fyziologickom a funkčnom profile pôdnej mikrobioty. V našom prípade bola použitá mikrotitračná platňa Biolog EcoPlate™, ktorá obsahuje 31 rôznych uhlíkových substrátov (napr. sacharidy, aminokyseliny, amíny, karboxylové kyseliny, polyméry či fenolické látky). Každý uhlíkový substrát sa na platni nachádza v troch opakovaniach, čo zvyšuje spoľahlivosť merania. Po naočkovaní pôdneho roztoku do jamiek dochádza k tomu, že mikroorganizmy využívajú dostupný substrát ako zdroj energie, pričom počas tohto procesu vzniká farebný produkt (redukcia tetrazóliového farbiva). Intenzita sfarbenia je úmerná metabolickej aktivite mikroorganizmov – čím viac mikroorganizmy substrát využívajú, tým intenzívnejšia je farba (Obr.). Farebná zmena sa meria spektrofotometricky ako optická denzita (OD), a to opakovane počas inkubácie, čím možno sledovať časovú dynamiku metabolickej aktivity. Výsledky umožňujú: i) kvantifikovať celkovú metabolickú aktivitu pomocou ukazovateľa AWCD; ii) vyhodnotiť diverzitu metabolických funkcií mikrobiálneho spoločenstva prostredníctvom indexov ekologickej diverzity (napr. Shannonov index); iii) porovnať varianty podľa toho, ktoré substráty alebo skupiny substrátov (funkčné kategórie) boli využívané vo väčšej či menšej miere.



Obr. 4 Ukážka Biolog EcoPlate po 144 hod. inkubácie pôdnych suspenzií z rizosféry kukurice v čase zrelosti. Intenzita fialového sfarbenia indikuje mieru metabolického využitia jednotlivých substrátov mikrobiálnou komunitou. 10 = nehnojená kontrola; 15 = Rokolan + 3×Rokohumín; 18 = kontrola s dusíkom.

Štatistické spracovanie údajov

Získané údaje boli spracované v programe Statgraphics 18 - X64. Na vyhodnotenie vplyvu viacerých faktorov na mikrobiálnu biomasu (variant ošetrovania, termín odberu, opakovanie) bola použitá mnohofaktorová ANOVA. Podiel variability vysvetlenej jednotlivými faktormi bol určený pomocou Variance Component Analysis. Na vyhodnotenie rozdielov medzi variantmi bola použitá jednofaktorová ANOVA. V prípade potreby bol aplikovaný aj následný *post-hoc* test (LSD).

Stanovenie chemických parametrov pôdy:

- 1. odber porušených vzoriek pôdy:** odber pôdy pred aplikáciou stimulantov a následnou sejbou kukurice bol realizovaný z každého sledovaného variantu (7 variantov s aplikáciou stimulantov, 1 kontrolný nehnojený variant, 1 variant hnojený priemyselnými hnojivami). Odber pôdy bol realizovaný 25.4.2025. Vzorky boli vysušené, pošrotované a boli v nich stanovené potrebné chemické parametre pôdy.
- 2. odber porušených vzoriek pôdy:** odber pôdy po zbere úrody kukurice bol realizovaný z každého sledovaného variantu (10 variantov s aplikáciou stimulantov, 1 kontrolný variant) 1.10.2025. Vzorky boli vysušené, pošrotované a boli v nich stanovené potrebné chemické parametre pôdy.

Sledované chemické parametre pôdy: obsah celkového dusíka, pôdneho organického uhlíka, prístupných živín (fosfor, draslík, horčík, vápnik), hodnoty výmennej pôdnej reakcie, pomer

uhlíka k dusíku (výpočtom). Sledované parametre pôdy boli stanovené použitím známych metód:

- pôdny organický uhlík [g.kg^{-1}] – bol stanovený metódou podľa Ťurina, pôdny organický uhlík sa zoxidoval pomocou kyslíka uvoľneného z chromsírovej zmesi a nespotrebovaná kyselina chromsírová sa stanovila titráciou Mohrovou soľou na indikátor difenylamín (Hraško a kol., 1962),
- celkový dusík [mg.kg^{-1}] – bol stanovený podľa Kjeldahla, po mineralizácii vzorky pôdy kyselinou sírovou sa dusík viazal vo forme síranu amónneho a po destilácii vodnou parou sa amoniak vytlačil silným hydroxidom, vydestiloval do predlohy so známym obsahom kyseliny sírovej a spätnou titráciou hydroxidom sa zistil obsah celkového dusíka (Hraško a kol., 1962),
- výmenná pôdna reakcia (pH/KCl) v roztoku KCl s koncentráciou 1 mol.l^{-1} , sa stanovila potenciometricky (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný fosfor [mg.kg^{-1}] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F , EDTA, NH_4NO_3 , CH_3COOH , HNO_3) sa stanovil spektrofotometricky ako fosfomolybdénová modrá (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný draslík [mg.kg^{-1}] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F , EDTA, NH_4NO_3 , CH_3COOH , HNO_3) sa stanovil metódou plameňovej fotometrie (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný horčík [mg.kg^{-1}] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F , EDTA, NH_4NO_3 , CH_3COOH , HNO_3) sa stanovil metódou atómovej absorpčnej spektrofotometrie (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný vápnik [mg.kg^{-1}] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F , EDTA, NH_4NO_3 , CH_3COOH , HNO_3) sa stanovil metódou atómovej absorpčnej spektrofotometrie (Hrivňáková a kol., 2011).

Stanovenie fyzikálnych parametrov pôdy:

- **stanovenie pôdnej vlhkosti** – v jarno – letnej časti vegetácie (25.6.2025) boli odoberané pôdne vzorky pre stanovenie pôdnej vlhkosti. Vzorky boli odoberané do plechových návažovačiek z pôdnych profilov 0 – 0,1 m, 0,1 – 0,2 m a 0,2 – 0,3 m z každého variantu. V danom termíne bolo odobratých 81 vzoriek pôdy. Vlhkosť pôdy bola stanovená gravimetricky (Hrivňáková a kol., 2011).
- **Stanovenie fyzikálnych parametrov** pôdy použitím známych metód a postupov (Hrivňáková a kol., 2011). Pôdne vzorky pre zistenie fyzikálnych vlastností boli odoberané ako neporušené vo forme Kopeckého fyzikálnych valčekov v jarnej časti vegetácie z hĺbky ornice, t. j. z 0,0 – 0,3 m v trojnásobnom opakovaní. Vzorky boli odoberané zo všetkých variantov s aplikáciou stimulantov a z kontrolného variantu. Odber vzoriek bol realizovaný 12.5.2025.

Hodnotili sa nasledujúce fyzikálne a hydrofyzikálne parametre pôdy

- merná hmotnosť (ρ_s , kg.m^{-3}) – pyknometricky
- objemová hmotnosť redukovaná (ρ_d , kg.m^{-3}) – gravimetricky,
 ρ_d = hmotnosť zeminy po vysušení/objem valčeka
- celková pórovitosť (P_c , %) – výpočtom podľa vzorca
$$P_c = [(\rho_s - \rho_d) / \rho_s] \times 100$$

2. EFEKT APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA SLEDOVANÉ PARAMETRE

2.1 Hodnotenie produkčných a kvalitatívnych parametrov zrna kukurice siatej (*Zea mays L.*)

Pôda je z globálneho hľadiska rozhodujúca pre zabezpečenie udržateľného rozvoja, a to nielen v oblasti poľnohospodárstva. Spôsob jej využívania významne ovplyvňuje zabezpečovanie jej produkčných a mimoprodukčných funkcií, ktoré sú prejavom jej kvality. Nevhodné využívanie pôdy spôsobuje jej degradáciu a následne nastáva pokles jej produkčnej schopnosti a ďalších významných funkcií. V rámci našich doposiaľ získaných výsledkov je zrejmé, že narastá význam aplikácie organických hnojív ako alternatívy a náhrady hnojív minerálnych. Sú jedným z riešení, ako pri súčasných vysokých teplotách a nižšom úhrne zrážok dosiahnuť optimálne úrody poľných plodín, ekologizovať poľnohospodárstvo a zvyšovať kvalitu pôdneho prostredia a biologický život v pôde.

V rámci riešenia projektu boli založené pokusy s aplikáciou organických hnojív do kukurice siatej. Dosiahnuté úrody sú uvedené v tabuľke 5.

Tabuľka 5 Priemerné úrody [$t \cdot ha^{-1}$] zrna kukurice siatej podľa variantov

Variant	Opakovanie			Priemer	% k priemeru pokusu
	1.	2.	3.		
1.	6,20	6,40	5,88	6,32	64,22
2.	10,04	9,59	9,75	9,79	99,49
3.	10,62	10,07	10,55	10,41	105,79
4.	9,36	9,34	9,72	9,47	96,24
5.	8,85	9,27	8,92	9,01	91,57
6.	10,18	10,30	10,06	10,18	103,46
7.	10,85	10,21	11,10	10,72	108,94
8.	11,15	11,20	10,57	10,97	111,48
9.	11,36	12,14	11,53	11,68	118,70
Priemer za pokus				9,84	100,00

Priemerná úroda zrna kukurice v celom pokuse predstavovala hodnotu $9,84 t \cdot ha^{-1}$. Pri aplikácii minerálnych hnojív – viacložkového kombinovaného hnojiva NPK a liadku amónneho s dolomitickým vápencom na 9. variante sa dosiahla priemerná úroda $11,68 t \cdot ha^{-1}$. Na nehnojenej variante 1 bola úroda výrazne nižšia, a to $6,32 t \cdot ha^{-1}$. Rozdiel predstavuje $5,36 t \cdot ha^{-1}$. Aplikáciou organických sa úrody oproti nehnojenej kontrole významne zvyšovali. Pohybovali sa od 91,57 % po 111,48 % priemeru pokusu, pričom najvyššia úroda bola na 8. variante s predsejbovou aplikáciou Revitalu a listovou aplikáciou Vermivitalov (podľa metodiky), pred 7. variantom s predsejbovou aplikáciou Effecca a listovou aplikáciou Rokohumínov a 3. variantom s aplikáciou vyzretého kompostu pred sejbou a s postrekmi extraktu z kompostu na list kukurice. Priemer pokusu prekonal aj variant s aplikáciou Rokolanu pred založením pokusu a postrekom Rokohumínov na list a tesne pod priemerom pokusu bol 2. variant s aplikáciou odpadového mestského humusu a následným postrekom na list prípravkami Mikrofertile. Z hľadiska úrod je možné skonštatovať, že organické hnojivá významne zvyšujú úrody oproti nehnojenej kontrole. Výška úrod kukurice pri hnojení organickými hnojivami sa približuje k úrodám dosahovaným pri aplikácii priemyselných hnojív.

Aplikácia organických hnojív prináša aj ďalšie benefity súvisiace so životným prostredím, pôdou a kvalitou produkcie plodín.

Z parametrov kvality zrna kukurice siatej sú najdôležitejšie dusíkaté látky a škrob. Prevládajúcou zložkou zrna kukurice je škrob. Podľa STN 46 1100-8 má byť v zrne potravinárskej kukurice obsah škrobu v sušine najmenej 68 %. Zrno kukurice siatej pestovanej na všetkých variantoch vyhovovalo uvedenej STN.

Obsah škrobu v zrne kukurice siatej sa vyskytoval v rozmedzí 70,01 – 74,71 % a bol závislý od variantu (tabuľka 6). Najviac škrobu bolo stanovené v zrne kukurice z 7. variantu, na ktorom bol pred sejbou do pôdy zapracovaný pôdny regenerátor Effeco by ZZ. Vyššie obsahy škrobu boli zaznamenané aj na 4., 5. a 6. variante (73,30 – 73,49 %).

Tabuľka 6 Priemerné obsahy škrobu a dusíkatých látok stanovené v zrne kukurice siatej

Variant	Stanovené parametre [%]		Úroda kvalitatívnych parametrov [t.ha ⁻¹]	
	Škrob	Dusíkaté látky	Škrob	Dusíkaté látky
1.	70,11	7,25	4,43	0,46
2.	70,82	7,73	6,93	0,76
3.	70,63	7,76	7,35	0,81
4.	73,49	7,35	6,96	0,70
5.	73,39	7,99	6,61	0,72
6.	73,30	7,77	7,46	0,79
7.	74,71	7,49	8,01	0,80
8.	70,38	7,30	7,72	0,80
9.	70,01	7,21	8,18	0,84

Obsah dusíkatých látok v zrne kukurice siatej bol závislý od variantu a vyskytoval sa v rozmedzí 7,21 – 7,99 % (tabuľka 6). Najviac dusíkatých látok bolo stanovených v zrne kukurice z 5. variantu a najmenej z 9. variantu hnojeného priemyselnými hnojivami.

Pri prepočte obsahu škrobu z hektára bolo zistené, že najvyššia úroda škrobu bola však zaznamenaná na 9. variante hnojenom priemyselnými hnojivami (8,81 t.ha⁻¹) a optimálna bola aj na 7. variante (8,01 t.ha⁻¹), čo súviselo hlavne s vyššími dosiahnutými úrodami zrna kukurice. Naopak, najnižšia úroda škrobu bola zistená na 1. kontrolnom variante (4,43 t.ha⁻¹), čo bolo výsledkom nielen stanoveného nižšieho obsahu škrobu v zrne, ale tiež s vyššími dosiahnutými úrodami zrna kukurice. Úrody škrobu sa vyskytovali v širokom rozmedzí od 4,43 t.ha⁻¹ do 8,18 t.ha⁻¹.

Podobne široké rozpätie mali aj zistené úrody dusíkatých látok, ktorých hodnoty sa pohybovali v rozmedzí 0,46 t.ha⁻¹ na kontrolnom nehnojenom variante do 0,84 t.ha⁻¹ na variante hnojenom priemyselnými hnojivami (tabuľka 6). Zaznamenané úrody dusíkatých látok najviac záviseli od úrody zrna kukurice.

Na variantoch s aplikáciou organických hnojív bol zaznamenaný užší rozdiel úrod škrobu medzi variantom s najnižšou a najvyššou úrodou (rozdiel 1,40 t.ha⁻¹, úrody 6,61 – 8,01 t.ha⁻¹) a tiež úrod dusíkatých látok (rozdiel 0,11 t.ha⁻¹, úrody 0,70 – 0,81 t.ha⁻¹).

2.2 Vplyv aplikácie organických hnojív na pôdne prostredie

Pre dosahovanie vysokých úrod poľných plodín je potrebné do pôdy pravidelne dodávať organické hnojivá, nevyhnutné pre tvorbu pôdneho humusu, pretože len pôdy dostatočne zásobené humusom si trvalo udržujú dobrú pôdnu úrodnosť.

Pri vhodnej starostlivosti o pravidelnú dodávku organických hnojív do pôdy a optimalizácii podmienok pre tvorbu humusu vytvárame nielen dobré fyzikálne vlastnosti ornice, ale pôdy sú taktiež obohacované o živiny, ktoré organické hnojivá obsahujú. Návratom organických hnojív do pôdy sa uzatvára kolobeh živín v hospodárstve.

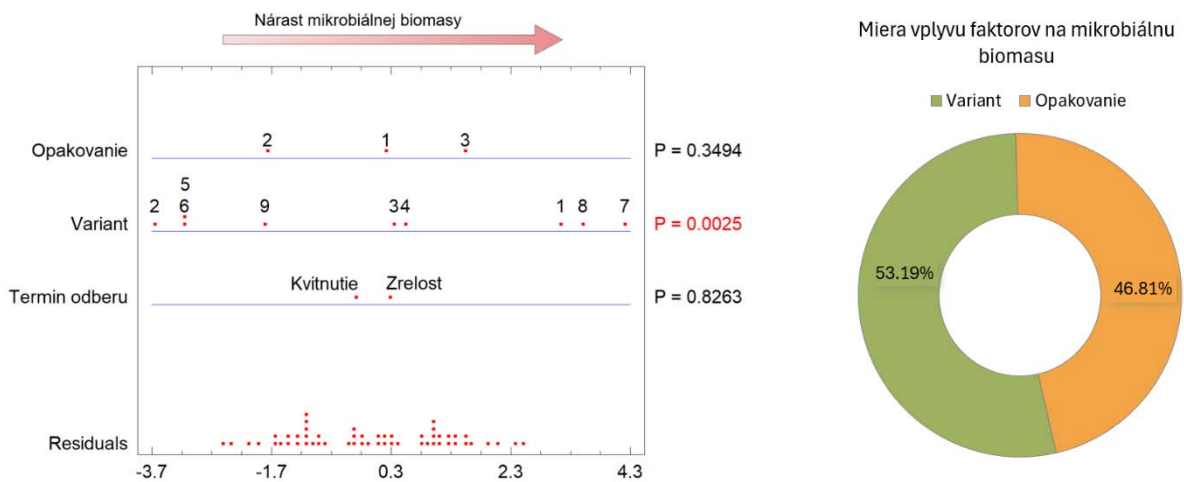
2.2.1 Biologické parametre pôdy – mikrobiálna diverzita

Mikrobiálna biomasa

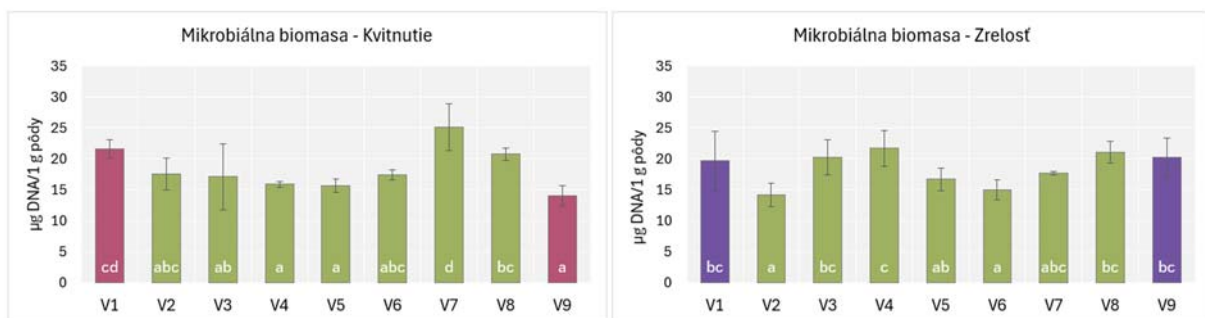
Celková pôdna mikrobiálna biomasa bola v roku 2025 hodnotená na základe množstva metagenomickej DNA ($\mu\text{g DNA/g}$ pôdy) izolovanej z rizosféry vzoriek kukurice. Na posúdenie faktorov ovplyvňujúcich biomasu bola vykonaná viacfaktorová ANOVA zahŕňajúca tri hlavné premenné: variant ošetrenia pôdy, termín odberu vzoriek (kvitnutie, zrelosť) a biologické opakovanie. Súčasne bola pomocou Variance Component Analysis (VCA) stanovená miera, akou jednotlivé faktory prispeli k celkovej variabilite biomasy. Multifaktorová ANOVA (Obr. 5 vľavo) preukázala, že najsilnejším determinantom mikrobiálnej biomasy bol použitý variant ošetrenia pôdy, ktorý mal štatisticky významný vplyv ($p = 0.0025$). Tento výsledok ukazuje, že aplikácia rôznych typov organických vstupov viedla k odlišnej úrovni rozvoja pôdnej mikrobioty v rizosfére kukurice. Niektoré organické varianty vykazovali vyššiu biomasu (indikované smerom doprava v grafickom výstupe ANOVA), zatiaľ čo iné sa pohybovali na úrovni kontrolných variantov. Faktor opakovania nevykázal štatisticky významný efekt ($p = 0.3494$), no Variance Component Analysis (Obr. 5 vpravo) ukázala, že zodpovedal za 46.81 % celkovej variability biomasy. To poukazuje na prirodzenú mikropriestorovú heterogenitu pôdy, ktorá je pre poľné pokusy typická a mala v roku 2025 významný podiel na rozdieloch medzi meraniami. Zásadným zistením bolo, že termín odberu (kvitnutie vs. zrelosť) nemal v roku 2025 žiadny vplyv na úroveň mikrobiálnej biomasy ($p = 0.8263$) a v rámci VCA predstavoval 0 % podiel variability. Biomasa tak zostávala stabilná naprieč vegetačnými fázami, čo naznačuje, že sezónne zmeny vo vývine rizosféry kukurice v roku 2025 zásadne neovplyvnili celkové množstvo mikrobiómu v pôde. Výsledky VCA potvrdili výraznú dominanciu faktora variant ošetrenia (53.19 % variability), zatiaľ čo faktor opakovanie zostal tesne za ním (46.81 %). Tieto výsledky zdôrazňujú, že hoci organické ošetrenia môžu významne modifikovať mikrobiálnu biomasu, rozdiely v mikrobiálnom profile na úrovni parciel v rámci poľa sú stále vysoké a môžu čiastočne prekryť efekt ošetrení.

Porovnanie mikrobiálnej biomasy medzi jednotlivými variantmi organického hnojenia (LSD, $\alpha = 0,05$) ukázalo rozdiely v úrovni mikrobiálneho osídlenia pôdy v oboch sledovaných termínoch (Obr. 6). Vo fáze kvitnutia boli najvyššie hodnoty biomasy zaznamenané pri variantoch 7. a 8., ktoré sa štatisticky odlíšili od variantov s najnižšími hodnotami – najmä 4., 5. a 9. variant (kontrola hnojená priemyselnými hnojivami). Väčšina organických variantov (2., 3., 6., 8.) vykazovala stredné hodnoty bez štatisticky preukázaných rozdielov medzi sebou. Kontrolný variant bez hnojenia (1.) mal jednu z najvyšších hodnôt biomasy. V období zrelosti sa rozdiely medzi variantmi čiastočne zmenili. Najvyššiu biomasu dosiahli varianty 4., 8. a 3. pričom 4. variant sa štatisticky odlíšil od 6., 5. a 2. variantu, ktoré vykázali najnižšiu hodnotu.

Kontrola s priemyselnými hnojivami (9.), ako aj nehnojená kontrola (1.) sa radili medzi varianty s vyššími hodnotami mikrobiálnej biomasy.



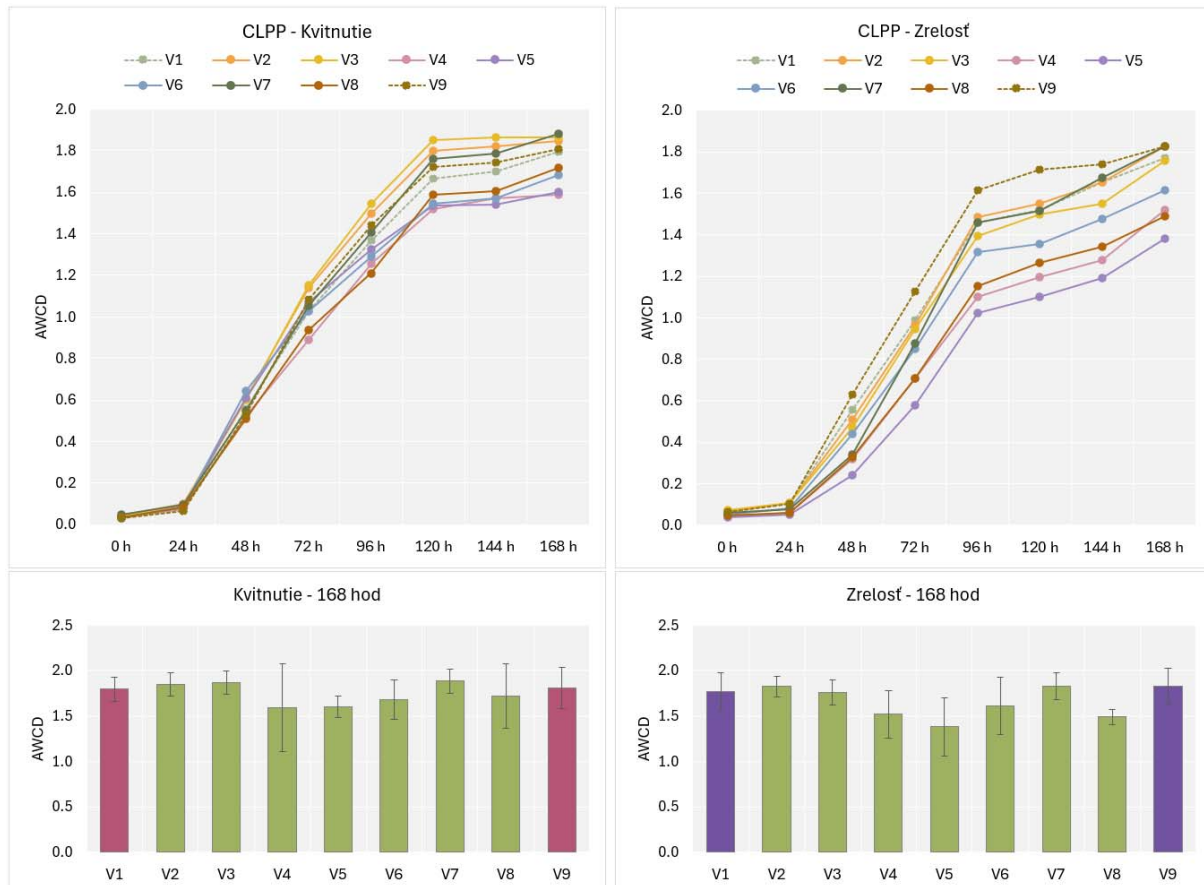
Obr. 5 Vplyv sledovaných faktorov na celkovú mikrobiálnu biomasu v pôde ($\mu\text{g DNA/g}$ pôdy) v roku 2025. (Vľavo) Grafická podoba viacfaktorovej ANOVA (faktory: termín odberu, variant, opakovanie) znázorňuje rozptyl hodnôt mikrobiálnej biomasy v závislosti od jednotlivých faktorov. Štatisticky významný vplyv bol zistený pre faktor variant organického ošetrenia ($p = 0,0025$), zatiaľ čo termín odberu (kvitnutie vs. zrelosť) ani opakovanie nevykázali významný efekt ($p > 0,05$). (Vpravo) Výsledky analýzy zložiek variácie (Variance Components Analysis) ukazujú, že rozptyl mikrobiálnej biomasy bol vysvetlený najmä faktorom variant (53,2 %) a čiastočne aj opakovaniami (46,8 %). Termín odberu neprispel vôbec, čo preukázalo žiadny minimálny sezónny efekt v sledovaných podmienkach.



Obr. 6 Mikrobiálna biomasu v rizosfére kukurice vyjadrená ako $\mu\text{g DNA/g}$ pôdy vo fáze kvitnutia (vľavo) a zrelosti (vpravo). Stĺpcové grafy zobrazujú priemerné hodnoty \pm SD ($n = 3$). Rozdielne písmená nad stĺpcami označujú štatisticky významné rozdiely medzi variantmi (LSD test, $\alpha = 0,05$). **V1** = nehnojená kontrola; **V2** = odpadový kompost + 3×Microfertilite; **V3** = vyzretý kompost + 3×extrakt vyzretého kompostu; **V4** = extrakt z vyzretého kompostu a Ecofertilite + 3×extrakt z vyzretého kompostu a Microfertilite; **V5** = Ecofertilite + 3×Microfertilite; **V6** = Rokolan + 3×Rokohumín; **V7** = Effeco BY ZZ + 3×Rokohumín; **V8** = Revital + 3×VermiVital; **V9** = kontrola s priemyselnými hnojivami NPK + LAV.

Metabolická aktivita mikroorganizmov

Metabolická aktivita mikrobiálnych spoločenstiev v pôde bola hodnotená pomocou CLPP metódy využitím Biolog EcoPlate, ktorá zachytáva najmä schopnosť aeróbných heterotrofných baktérií využívať rôzne uhlíkové substráty. Aktivita bola vyjadrená ako priemerná hodnota farebnej absorbancie v jamkách platne – AWCD (Average Well Colour Development) a sledovaná v dvoch termínoch: počas kvitnutia a v období plnej zrelosti kukurice (Obr. 7).

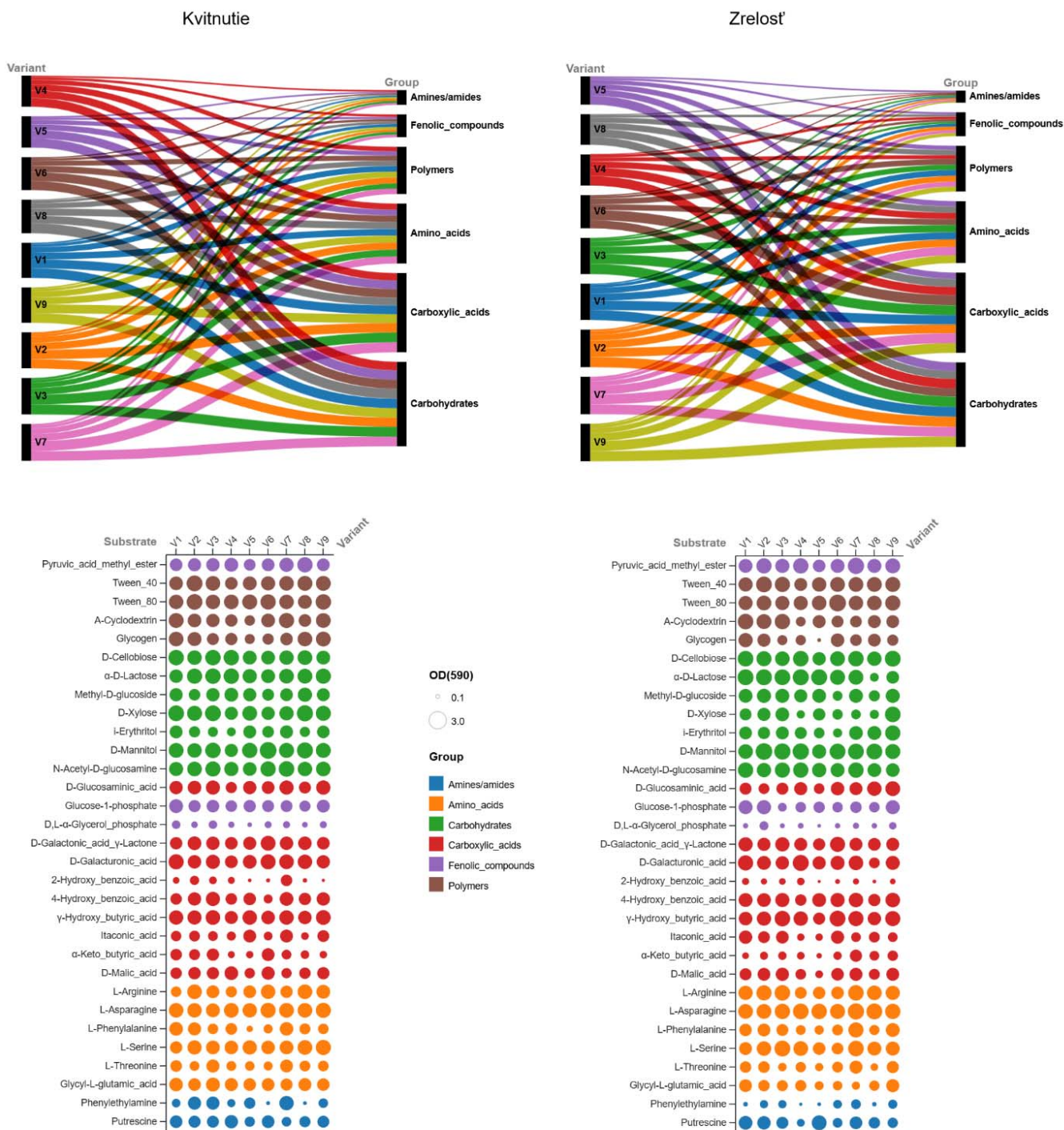


Obr. 7 Časový priebeh metabolickej aktivity pôdných mikroorganizmov meranej metódou Community Level Physiological Profiling (CLPP) pomocou platní Biolog EcoPlate vo variantoch V1–V9 počas kvitnutia a zrelosti kukurice. Grafy zobrazujú priemerné hodnoty AWCD (Average Well Colour Development) merané v 24-hodinových intervaloch počas 168 hodín inkubácie. Dolné grafy znázorňujú hodnoty AWCD po 168 hodinách kultivácie pre jednotlivé varianty, pričom medzi variantmi nebol zaznamenaný štatisticky významný rozdiel ani v jednom termíne odberu (ANOVA, $p > 0,05$). **V1** = nehnojená kontrola; **V2** = odpadový kompost + 3×Microfertilile; **V3** = vyzretý kompost + 3×extrakt vyzretého kompostu; **V4** = extrakt z vyzretého kompostu a Ecofertilile + 3×extrakt z vyzretého kompostu a Microfertilile; **V5** = Ecofertilile + 3×Microfertilile; **V6** = Rokolan + 3×Rokohumín; **V7** = Effeco BY ZZ + 3×Rokohumín; **V8** = Revital + 3×VermiVital; **V9** = kontrola hnojená priemyselnými hnojivami NPK + LAV.

Vo všetkých variantoch sa zaznamenal podobný priebeh metabolickej aktivity v čase. Od 24. po 96. hodinu inkubácie bol pozorovaný výrazný nárast AWCD, ktorý následne postupne prechádzal v termíne kvitnutia do stabilizačnej fázy (plateau) približne medzi 120. – 168. hodinou kultivácie. Tento trend potvrdzuje aktívnu mikrobiálnu komunitu schopnú efektívne

využívať široké spektrum uhlíkových zdrojov. V období zrelosti bol plateau efekt menej výrazný. Kontrolné varianty (1. variant – nehnojená kontrola, 9. variant – variant hnojený priemyselnými hnojivami) počas kvitnutia vykazovali stredné hodnoty AWCD a zo zrelosti vyššie, resp. najvyššie hodnoty. Počas kvitnutia organické varianty vykazovali veľmi podobnú úroveň AWCD, pričom rozdiely medzi nimi boli len mierne a nepreukázali jasný trend smerom k zvýšeniu alebo zníženiu celkovej metabolickej aktivity v porovnaní s kontrolami. V období zrelosti boli výsledné rozdiely v hodnotách AWCD medzi organickými variantami viac výrazné, čo naznačuje vyššiu citlivosť mikrobiálnych spoločenstiev na typ hnojenia v neskoršom vegetačnom štádiu rastliny. Avšak porovnanie hodnôt po 168 hodinách inkubácie ukázalo, že metabolický profil pôdných mikroorganizmov sa medzi variantmi významne nelíšil vzhľadom na vyššiu variabilitu medzi biologickými opakovaniami. Jednofaktorová ANOVA potvrdila, že rozdiely v AWCD medzi variantmi neboli štatisticky významné ani počas kvitnutia ($p = 0.7468$), ani v období zrelosti ($p = 0.12$).

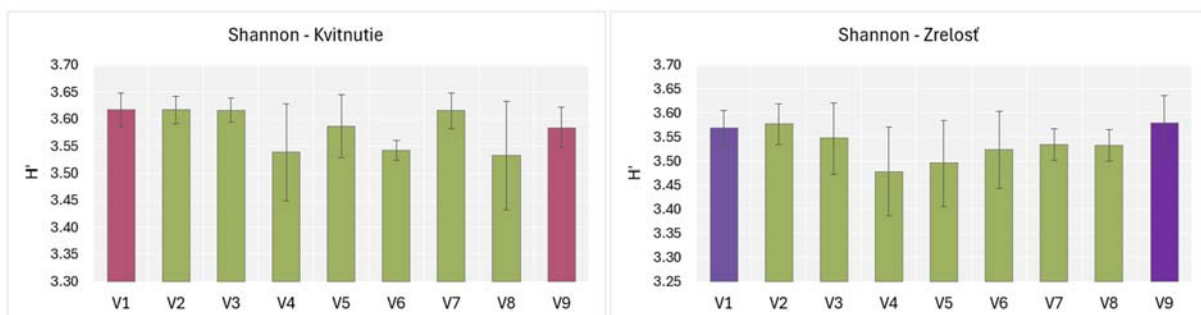
Metabolický profil pôdných mikroorganizmov bol hodnotený aj na úrovni využívania jednotlivých uhlíkových substrátov zaradených do šiestich funkčných skupín (amíny/amidy, aminokyseliny, sacharidy (karbohydráty), karboxylové kyseliny, polyméry a fenolické zlúčeniny). Na Obr. 8 sú zobrazené výsledky po 168 hodinách kultivácie vo forme Alluvial diagramov (hore), ktoré vizualizujú relatívnu mieru využitia funkčných skupín substrátov jednotlivými variantmi ošetrovania pôdy, a Matrix plotov (dole), kde sú prezentované absorpcie (OD_{590}) pre každý jednotlivý substrát a variant na konci inkubácie. Alluvial diagramy poukazujú na to, že profil využívania jednotlivých skupín uhlíkových substrátov bol vo všeobecnosti veľmi podobný naprieč všetkými variantmi ošetrovania pôdy, a to v oboch termínoch odberu (kvitnutie aj zrelosť). Najväčší podiel celkovej absorpcie pripadal na sacharidy a karboxylové kyseliny, čo však súvisí najmä s tým, že tieto skupiny obsahujú najvyšší počet testovaných substrátov v EcoPlate. Amíny/amidy, polyméry a fenolické zlúčeniny prispievali k celkovej absorpcii menším podielom, čo odráža ich nižší počet v porovnaní s ostatnými skupinami, a nie nevyhnutne nižšiu mieru ich využívania mikroorganizmami. Poradie variantov v Alluvial grafoch je znázornené vo vzostupnom (ascending) poradí, preto je medzi obdobiami viditeľný posun poradia variantov, avšak bez konzistentného vzorca, ktorý by naznačoval systematický vplyv organických ošetrovaní na zmeny v rozdelení metabolickej odozvy medzi funkčnými skupinami substrátov. Matrix plot umožnil detailnejšie posúdenie rozdielov vo využití 31 individuálnych uhlíkových substrátov. Väčšina variantov vykazovala relatívne vyrovnané hodnoty OD, čo naznačuje podobné metabolické správanie mikrobiálnych komunití po 168 hodinách kultivácie. Najvýraznejšie absorpcie boli zaznamenané pri substrátoch zo skupiny sacharidov, pri niektorých aminokyselinách (najmä L-asparagín a L-serín), a pri polyméroch (napr. Tween 80 a Tween 40). Medzi termínmi odberu sa objavili čiastkové rozdiely, najmä pri niekoľkých karboxylových kyselinách (kys. α -ketomaslová, kys. itakonová) a amínových substrátoch (fenyletylamín), avšak tieto rozdiely neboli konzistentné naprieč variantmi. Organické varianty sa medzi sebou líšili len minimálne a bez jednoznačného vzorca naznačujúceho zvýšenú alebo zníženú schopnosť mikroorganizmov využívať špecifické substráty. Celkovo Matrix plot potvrdzuje, že organické ošetrovania zásadne nezmenili spektrum využívaných uhlíkových zdrojov, ale skôr mierne modifikovali intenzitu metabolickej odozvy pri jednotlivých substrátoch.



Ob. 8 Profil využitia substrátov pôdnymi mikroorganizmami stanovený metódou CLPP pre jednotlivé varianty počas kvitnutia a zrelosti kukurice. Horná časť obrázka zobrazuje Alluvial diagram, ktorý znázorňuje prepojenie medzi variantmi ošetrovania pôdy (V1–V9) a šiestimi funkčnými skupinami substrátov zahrnutých v platni Biolog EcoPlate: Carbohydrates (karbohydráty), Carboxylic acids (karboxylové kyseliny), Amino acids (aminokyseliny), Polymers (polyméry), Phenolic compounds (fenolické zlúčeniny) a Amines/amides (amíny/amidy). Hrúbka prúžku reprezentuje mieru využitia danej skupiny substrátov v jednotlivých variantoch. Dolná časť obrázka predstavuje Matrix plot, ktorý zobrazuje využitie všetkých 31 jednotlivých substrátov zahrnutých v Biolog EcoPlate pre každý variant. Veľkosť

bodov zodpovedá priemernej hodnote absorbancie OD_{590} po 168. hod inkubácii ($n=3$), pričom väčší bod znamená intenzívnejšie využitie daného substrátu. Farby bodov označujú príslušnosť substrátu k jednej zo šiestich funkčných skupín. **V1** = nehnojená kontrola; **V2** = odpadový kompost + 3×Microfertile; **V3** = vyzretý kompost + 3×extrakt vyzretého kompostu; **V4** = extrakt z vyzretého kompostu a Ecofertile + 3×extrakt z vyzretého kompostu a Microfertile; **V5** = Ecofertile + 3×Microfertile; **V6** = Rokolan + 3×Rokohumín; **V7** = Effeco BY ZZ + 3×Rokohumín; **V8** = Revital + 3×VermiVital; **V9** = kontrola s priemyselnými hnojivami NPK + LAV.

Metabolická diverzita pôdnych mikroorganizmov bola po 168 hodinách kultivácie v Biolog EcoPlate vyhodnotená aj pomocou Shannonovho indexu (H' , Obr. 9). Tento index zohľadňuje nielen počet využitých uhlíkových substrátov, ale aj ich rovnomerné využívanie mikrobiálnou komunitou, a preto predstavuje informatívny ukazovateľ funkčnej rozmanitosti aeróbných heterotrofných mikroorganizmov v pôde. Vo fáze kvitnutia kukurice vykazovali všetky varianty porovnateľnú úroveň metabolickej diverzity, pričom hodnoty Shannonovho indexu boli mierne vyššie než v období zrelosti. Najstabilnejší a najvyšší stupeň diverzity bol v oboch termínoch zaznamenaný v kontrolných variantoch (bez hnojenia a s prídavkom dusíka), čo naznačuje udržanú funkčnú rozmanitosť pôdnych mikroorganizmov bez ohľadu na vývoj rastliny. Hoci sú medzi variantmi vizuálne pozorovateľné mierne rozdiely v hodnote indexu, variabilita medzi opakovaniami spôsobila, že tieto odchýlky neboli štatisticky potvrdené a teda ANOVA nepreukázala významné rozdiely v Shannonovom indexe medzi variantmi ani počas kvitnutia ($p = 0.277$), ani v období zrelosti ($p = 0.5329$). To znamená, že aplikované organické hnojivá ani kontrolné varianty (bez hnojenia a aj s dusíkom) nevedli k výraznej zmene v úrovni funkčnej metabolickej diverzity spoločenstiev, ktoré boli schopné využívať široké spektrum uhlíkových zdrojov dostupných na EcoPlate.



Obr. 9 Shannonov index (H') vypočítaný z relatívnych hodnôt OD_{590} po 168 hodinách kultivácie v pre jednotlivé varianty ošetrenia pôdy. Stĺpcové grafy znázorňujú priemerné hodnoty ($n=3$) \pm SD. Jednofaktorová ANOVA nepotvrdila štatisticky významné rozdiely medzi variantmi ani v jednom termíne (ANOVA, $p > 0,05$).

2.2.2 Organická hmota v pôde

Pôdna organická hmota predstavuje najdôležitejšiu zásobu organického uhlíka v biosfére a v závislosti od podmienok môže eliminovať alebo sekvestrovať skleníkové plyny v životnom prostredí (Barančíková et al., 2019). Súčasne pôdna organická hmota je považovaná za hlavný indikátor pri hodnotení kvality pôdy. Sledovanie zmien pôdneho organického uhlíka pri rôznych systémoch hospodárenia a využívania krajiny je potrebné pre vývoj trvalo udržateľných systémov hospodárenia na pôde (Zaujec a Kobza, 2002).

Využívanie pôdy človekom viedlo a vedie k znižovaniu zásob uhlíka v pedosfére jeho presunom vo forme emisií oxidu uhličitého z pôdy do ovzdušia, čo prispieva k celkovému nárastu oxidu uhličitého v ovzduší (Chesworth, 2008). Prognózy vyplývajúce z modelovania vývoja obsahu pôdnej organickej hmoty pri súčasných spôsoboch hospodárenia na území Slovenska sú naďalej pesimistické (Barančíková, Šoltysová a Koco, 2010).

Straty organickej hmoty z pôdy nemusia byť trvalé. Existujú nápravné opatrenia, ktorými je možné udržať organický podiel v pôde, čo môže prispieť k pozastaveniu nadmerných presunov pôdneho uhlíka do ovzdušia. Tieto nápravné opatrenia môžu dokonca vyvolať pozitívne bilancie uhlíka v pôde, čo sa zjednodušene nazýva sekvestrácia (ukladanie) uhlíka z ovzdušia do pôdy (Bielek a Jurčová, 2010). Priemerné ročné prírastky pôdnej organickej hmoty opatreniami na sekvestráciu vzdušného oxidu uhličitého sa pohybujú od 1,38 t.ha⁻¹ do 17,0 t.ha⁻¹.

Organické poľnohospodárske systémy a aplikácia organických hnojív patria medzi navrhované adaptačné opatrenia pre zachovanie a zvýšenie množstva organického uhlíka v pôde (Ministerstvo životného prostredia SR, 2014).

Zmeny pôdneho organického uhlíka a humusu na variantoch s aplikáciou organických hnojív pri pestovaní kukurice siatej na zrno sú uvedené v tabuľke 7. Na monitorovanej parcele bol zistený obsah humusu v rozmedzí 27,38 – 29,64 g.kg⁻¹, čo znamená, že parcela bola stredne humózna (Fecenko a Ložek, 2000). Zistené obsahy humusu zodpovedajú danému pôdnemu typu (Sotáková, 1982).

Tabuľka 7 Priemerné obsahy organického uhlíka a humusu v pôde podľa variantov aplikácie organických hnojív

Variant	Pôdny organický uhlík [g.kg ⁻¹]			Humus [g.kg ⁻¹]		
	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel
1.	15,91	15,90	-0,01	27,42	27,40	-0,02
2.	16,04	16,30	0,26	27,64	28,09	0,45
3.	16,63	16,40	-0,23	28,66	28,26	-0,40
4.	16,99	17,20	0,21	29,28	29,64	0,36
5.	16,77	16,50	-0,27	28,90	28,44	-0,46
6.	16,12	16,10	-0,02	27,78	27,75	-0,03
7.	15,89	16,05	0,16	27,38	27,66	0,28
8.	16,52	16,40	-0,12	28,47	28,26	-0,21
9.	16,25	16,10	-0,15	28,00	27,75	-0,25

Zmeny obsahov pôdneho organického uhlíka medzi jarým a jesenným odberom pôdy neboli významné a vyskytovali sa v rozmedzí $-0,27 \text{ g.kg}^{-1}$ až $0,28 \text{ g.kg}^{-1}$ (tabuľka 7). Mierne pozitívne zmeny obsahu pôdneho organického uhlíka boli zaznamenané na 2., 4. a 7. variante.

Zmeny pôdneho organického uhlíka medzi jarým a jesenným odberom pôdy väčšinou boli mierne negatívne, pričom rozdiel obsahu pôdneho organického uhlíka medzi jarým a jesenným odberom pôdy bol zanedbateľný.

2.2.3 Chemické parametre pôdy

V realizovaných pokusoch s rozdielnou výživou kukurice siatej na zrno boli sledované aj zmeny vybraných chemických parametrov pôdy, konkrétne zmeny obsahu celkového dusíka, prístupných živín (fosfor, draslík, vápnik, horčík) a výmennej pôdnej reakcie.

Dusík je základným produkčným prvkom. Bielek (1999) pre fluvizeme Slovenska uvádza priemerný obsah celkového dusíka 1780 mg.kg^{-1} . Z celkového dusíka v pôde je až 98 % viazaného v organických zlúčeninách. Pri obsahu humusu 1,5 – 2,5 % obsahuje ornica $3\ 000 - 6\ 000 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ N}$.

Dusík vytvára veľké množstvo zlúčenín, pričom jeho mocenstvo sa mení od -3 do +5 a vyskytuje sa v organických a anorganických zlúčeninách v troch skupenstvách. Ich podstatná časť sa nachádza v pôdnom prostredí s cyklami premien, ktoré významne pôsobia na jeho prístupnosť pre rastliny. Systém kolobehu dusíka v prírode umožňuje pritom existenciu života na Zemi a jeho obsah vo vzduchu je obrovskou zásobárňou a poistkou tohto systému (Bízik a Zápotočný, 2009).

Obsah celkového dusíka v pôde sa vyskytoval v rozmedzí $1379 - 1620 \text{ mg.kg}^{-1}$ (tabuľka 8) a súvisel s variantom a termínom odberu. Zásoba dusíka vzhľadom na obsah organického uhlíka bola stredná až nízka.

Tabuľka 8 Priemerné obsahy celkového dusíka, prístupného fosforu a draslíka v pôde podľa variantov aplikácie organických hnojív

Variant	N_t [mg.kg^{-1}]			P [mg.kg^{-1}]			K [mg.kg^{-1}]		
	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel
1.	1 442	1 460	18	76,8	80,5	3,7	320,8	334,2	13,4
2.	1 586	1 620	34	95,4	101,4	6,0	361,2	378,7	17,5
3.	1 411	1 560	149	108,9	110,4	1,5	384,6	397,7	13,1
4.	1 471	1 580	109	101,2	105,2	4,0	364,5	377,7	13,2
5.	1 504	1 487	-17	89,5	89,4	-0,1	366,1	355,3	-10,8
6.	1 379	1 460	81	89,9	95,6	5,7	365,2	362,3	-2,9
7.	1 440	1 550	110	100,3	105,4	5,1	361,7	373,3	11,6
8.	1 471	1 510	39	113,6	115,5	1,9	387,6	382,9	-4,7
9.	1 502	1 520	18	118,5	125,6	7,1	395,5	406,3	10,8

kde: N_t – celkový dusík, P – prístupný fosfor, K – prístupný draslík

Zmeny obsahov celkového dusíka medzi jarým a jesenným odberom pôdy neboli výrazné a vyskytovali sa v rozmedzí -17 mg.kg^{-1} až $+149 \text{ mg.kg}^{-1}$. Zmeny celkového dusíka medzi jarým a jesenným odberom pôdy väčšinou boli mierne pozitívne (tabuľka 8). Variabilitu obsahov celkového dusíka v ročníku zaznamenali aj Gömöryová a Gömöry (2013).

Obsah celkového fosforu v pôde je nízky a súvisí tiež s druhom pôdy. Stredné hlinité a ťažšie ílovité pôdy všeobecne obsahujú vyššie množstvo celkového fosforu ako ľahké piesočnaté pôdy (Benko a kol., 1974). V našich podmienkach sa obsah celkového fosforu pohybuje od 0,02 % do 0,2 % (Fecenko a Ložek, 2000). Značné zmeny v obsahu fosforu nastávajú v dôsledku klimatických podmienok. V pôdach rovnakej textúry semiarídneho pásma je obsah fosforu vyšší než v pôdach humídneho pásma.

Obsah prístupného fosforu sa vyskytoval v rozmedzí 76,8 – 125,6 mg.kg⁻¹ (tabuľka 8). Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov chemických rozborov orných pôd (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z.) bol v pôde dobrý až vysoký obsah prístupného fosforu. Zmeny obsahov prístupného fosforu medzi jarným a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch boli väčšinou pozitívne od +1,5 mg.kg⁻¹ do +7,1 mg.kg⁻¹ s výnimkou 5. variantu, na ktorom zostal obsah prístupného fosforu zachovaný (tabuľka 8).

Draslík je živina, ktorú potrebujú všetky rastliny vo väčšom množstve, a to dokonca viac ako dusík. V prírode sa draslík nevyskytuje v prvkovej forme, ale je súčasťou kremičitanov, uhličitanov, síranov, chloridov a fosforečnanov. Obsah celkového draslíka v pôde závisí od jeho pôvodu a väčšinou sa pohybuje od 0,5 % do 3,0 %. Pôdy ťažké ílovité môžu obsahovať viac ako 4 % draslíka (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995).

Z celkového obsahu draslíka len 1 % sa nachádza vo výmennej a vodorozpustnej forme, ľahko prístupnej pre rastliny (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995). Obsah prístupného draslíka sa v pokuse s kukuricou siatou na zrno vyskytoval v rozmedzí 320,8 – 406,3 mg.kg⁻¹ (tabuľka 8) a bol závislý od variantu a termínu odberu. Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov chemických rozborov orných pôd (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z.) bol v pôde dobrý až vysoký obsah prístupného draslíka. Zmeny obsahov prístupného draslíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch neboli jednoznačné a vyskytovali sa v rozmedzí -10,8 mg.kg⁻¹ až +17,5 mg.kg⁻¹ (tabuľka 8).

Dôležitou makroživinou v pôde je vápnik, ktorý je nielen potrebnou živinou, ale zohráva významnú úlohu pri úprave pôdnej reakcie. Vápnik ovplyvňuje prístupnosť ostatných makro a mikroelementov v pôde, čo sa prejavuje na produkcii a kvalite úrod. Navyše vápnik neutralizuje pôdnu kyslosť a tým inhibuje príjem ťažkých kovov (Sobocká et al., 2005).

Obsah prístupného vápnika sa vyskytoval v rozmedzí 3054 – 3530 mg.kg⁻¹ (tabuľka 9) a bol závislý hlavne od variantu. Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov podľa Práškovvej a Nemca (2016) bol v pôde dobrý obsah prístupného vápnika. Zmeny obsahov prístupného vápnika medzi jarným a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch boli pozitívne a vyskytovali sa v rozmedzí +20 mg.kg⁻¹ až +94 mg.kg⁻¹ s výnimkou 9. variantu (variant hnojený priemyselnými hnojivami), na ktorom zostal obsah prístupného vápnika zachovaný (tabuľka 9).

V pôdach sú pomerne značné množstvá horčíka (0,1 – 0,6 %), ale len malá časť z celkového horčíka sa nachádza vo formách prístupných pre rastliny (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995). Z celkového obsahu horčíka v pôde sa až 90 – 95 % nachádza v silikátoch, aluminosilikátoch, biotite, pyroxénoch, terpentíne a montmorillonite. V silikátovej forme sa horčík ťažko rozpúšťa vo vode a preto jeho využitie rastlinami je veľmi malé. Karbonátové pôdy obsahujú horčík viazaný vo forme uhličitanov, ktoré ľahšie zvetrávajú a tým sa v porovnaní so silikátmi stáva horčík prístupnejší pre rastliny.

Z hľadiska výživy rastlín má význam horčík v prístupnej forme (výmenný a vodorozpustný horčík). Vo výmennej forme je horčík viazaný na pôdny sorpčný komplex a vo forme vodorozpustných solí je zložkou pôdneho roztoku. Množstvo horčíka v pôde je závislé od pôdnej vlhkosti, teda od obsahu vody v pôde. V závislosti na pohybe vody v pôde

dochádza k stratám horčíka z pôdy vymývaním a tým k transportu horčíka do spodných pôdných vrstiev. Takýmto spôsobom sa ročne z pôdy vyplaví 20 – 25 kg.ha⁻¹ horčíka.

Tabuľka 9 Priemerné obsahy prístupného vápnika a horčíka a hodnôt výmennej pôdnej reakcie podľa variantov aplikácie organických hnojív

Variant	Ca [mg.kg ⁻¹]			Mg [mg.kg ⁻¹]			pH/KCl		
	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel
1.	3142	3203	61	213,9	223,8	9,9	5,66	5,63	-0,03
2.	3141	3235	94	212,8	224,0	11,2	5,79	5,79	0,00
3.	3451	3530	79	221,3	234,1	12,8	6,18	6,17	-0,01
4.	3275	3348	73	216,7	229,0	12,3	5,90	5,84	-0,06
5.	3074	3149	75	214,7	221,0	6,3	5,73	5,69	-0,04
6.	3054	3145	91	218,2	225,6	7,4	5,77	5,73	-0,04
7.	3159	3249	90	215,4	226,1	10,7	5,81	5,82	0,01
8.	3174	3194	20	210,4	215,6	5,2	5,77	5,67	-0,10
9.	3064	3062	-2	209,9	219,3	9,4	5,63	5,58	-0,05

kde: Ca – prístupný vápnik, Mg – prístupný horčík, pH/KCl – výmenná pôdna reakcia

Monitorovaná ílovito-hlinitá fluvizem glejová mala vyhovujúci až dobrý obsah prístupného horčíka (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z.), ktorého obsah sa pohyboval od 209,9 mg.kg⁻¹ do 234,1 mg.kg⁻¹ (tabuľka 9). Zmeny obsahov prístupného horčíka medzi jarým a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch boli pozitívne a vyskytovali sa od +5,2 mg.kg⁻¹ do +12,8 mg.kg⁻¹ (tabuľka 9).

Dôležitým ukazovateľom agrochemických charakteristík pôd je pôdna reakcia, ktorá vplýva na rast a vývoj kultúrnych rastlín, na činnosť mikroorganizmov v pôde a má veľký význam v pôdotvornom procese (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995).

Hodnoty výmennej pôdnej reakcie sa vyskytovali v rozmedzí od 5,58 do 6,18 (tabuľka 9) a podľa kritérií hodnotenia bola výmenná pôdna reakcia slabokyslá (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z). Hodnoty výmennej pôdnej reakcie boli závislé od variantu+.

Diferencie hodnôt výmennej pôdnej reakcie medzi jarým a jesenným odberom pôdných vzoriek sa vyskytovali v rozpätí -0,10 až +0,01 (tabuľka 9).

Pôdna reakcia ovplyvňuje prístupnosť živín. Zvýšená kyslosť pôdy znižuje rozpustnosť niektorých živín niekedy až pod životné minimum rastlín. Masaryk a kol. (1980) uvádzajú optimálne hodnoty pôdnej reakcie, pod ktorými je výraznejšie obmedzený rast rastlín. Pre optimálny rast a vývoj väčšiny rastlín je potrebná neutrálna pôdna reakcia (6,5 – 7,2). Niektoré rastliny s väčšou či menšou toleranciou znášajú pôdnu reakciu presahujúcu tieto krajné hodnoty o 0,4, ale v našich pokusoch zistené hodnoty výmennej pôdnej reakcie sú nižšie ako uvedené limitné hodnoty, čo mohlo negatívne ovplyvniť rast plodín na sledovaných variantoch.

2.2.4 Fyzikálne parametre pôdy

Na zmeny fyzikálnych vlastností pôdy sú vo všeobecnosti náchylnejšie menej kvalitné pôdy, ku ktorým patria aj pôdy ťažké s vyšším obsahom ílovitých častíc. Na variantoch s aplikáciou organických hnojív bola zisťovaná pôdna vlhkosť v pôdných profiloch 0 – 0,1 m,

0,1 – 0,2 m a 0,2 – 0,3 m. Priemerné hodnoty pôdnej vlhkosti na jednotlivých variantoch hnojenia v troch pôdnych hĺbkach sú uvedené v tabuľke 10. Vo všetkých troch hodnotených pôdnych profiloch bola vlhkosť pôdy závislá od variantu aplikácie organických hnojív a pôdnej hĺbky.

Tabuľka 10 Vlhkosť pôdy na jednotlivých variantoch aplikácie organických hnojív

Variant	Hĺbka pôdy			
	0 – 0,1 m [%]	0,1 – 0,2 m [%]	0,2 – 0,3 m [%]	0 – 0,3 m [%]
1.	14,00	6,23	5,77	8,67
2.	5,38	5,20	11,29	7,29
3.	15,68	12,91	6,10	11,56
4.	14,10	13,51	10,57	12,72
5.	17,02	13,16	13,46	14,55
6.	16,17	17,64	6,86	13,56
7.	14,13	11,13	11,08	12,11
8.	17,17	12,90	11,24	13,77
9.	15,38	13,06	8,22	12,22
priemer	14,34	11,75	9,40	11,83

Z hľadiska variantov bola najvyššia vlhkosť pôdy v hĺbke 0 – 0,3 m zistená na 5. (14,55 %), 8. (13,77 %) a 6. (13,56 %) variante, teda na týchto variantoch boli rastliny najlepšie zásobené vodou. Na týchto variantoch bola najvyššia vlhkosť pôdy zistená aj v prvom pôdnom profile 0 – 0,1 m.

S poklesom pôdnej hĺbky bol zaznamenaný pokles pôdnej vlhkosti (hĺbka 0 – 0,1 m priemerná vlhkosť 14,34 %, hĺbka 0,1 – 0,2 m priemerná vlhkosť 11,75 %, hĺbka 0,2 – 0,3 m priemerná vlhkosť 9,40 %), pričom medzi prvým a tretím pôdnym profilom bol zaznamenaný priemerný pokles pôdnej vlhkosti o 4,94 %.

Priemerná vlhkosť pôdy v hĺbke 0 – 0,3 m na variantoch hnojených organickými hnojivami bola zhodná s priemernou vlhkosťou pôdy na variante hnojenom priemyselnými hnojivami (12,22 %). Na nehnojenej kontrole v hĺbke 0 – 0,3 m bola priemerná vlhkosť pôdy len 8,67 %. Na tejto nízkej priemernej vlhkosti pôdy sa podieľali spodné pôdne profily 0,1 – 0,2 m a 0,2 – 0,3 m, pretože v pôdnom profile 0 – 0,1 m bola pôdna vlhkosť porovnateľná s variantami hnojenými organickými hnojivami.

V tabuľke 11 sú uvedené fyzikálne charakteristiky pôdy zistené v sledovanom období v hĺbke 0 – 0,3 m. Priemerné hodnoty objemovej hmotnosti na sledovaných variantoch sa nachádzali v rozpätí 1477 – 1502 kg.m⁻³. Zistené hodnoty objemovej hmotnosti boli vyššie ako 1400 kg.m⁻³, čo je limitná hodnota pre ílovito-hlinitú pôdu (Zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy č. 220/2004 Z. z.) a preto môže dochádzať k zhutneniu pôdy a k nepriaznivým zmenám vodného a vzdušného režimu pôdy.

Tabuľka 11 Fyzikálne parametre pôdy zistené na jednotlivých variantoch aplikácie organických hnojív v hĺbke 0 – 0,3 m

Variant	Objemová hmotnosť	Celková pórovitosť
	ρ_d [kg.m ⁻³]	Pc [%]
1.	1477	42,42
2.	1502	41,46
3.	1480	42,29
4.	1483	42,18
5.	1493	41,81
6.	1495	41,73
7.	1498	41,58
8.	1482	42,21
9.	1496	41,69
priemer	1490	41,93

Hodnoty objemovej hmotnosti pôdy sa vyskytovali v úzkom rozmedzí. Nižšie hodnoty objemovej hmotnosti boli zistené na 1. nehnojenom variante (1477 kg.m⁻³) a z variantov s aplikáciou organických hnojív na 3. variante (1480 kg.m⁻³), 8. variante (1482 kg.m⁻³) a 4. variante (1483 kg.m⁻³). Najvyššie hodnoty objemovej hmotnosti boli zaznamenané na 2. (1502 kg.m⁻³) a 7. variante (1498 kg.m⁻³).

Procesy napučievania a zmršťovania sú typické pre ťažké pôdy s vysokým obsahom ílovitých častíc a ovplyvňujú pórovitosť pôdy a jej zmeny. Celková pórovitosť je funkciou objemovej hmotnosti, preto sú jej hodnoty nižšie pri vyššej objemovej hmotnosti. Optimálna celková pórovitosť pre ílovito-hlinité pôdy má byť vyššia ako 47 %. Priemerné hodnoty pórovitosti na sledovaných variantoch v rozmedzí 41,46 – 42,42 % poukazujú na zhutnenie pôdneho profilu (tabuľka 11).

Celková pórovitosť pôdy bola závislá od variantu. Vyššia celková pórovitosť pôdy bola zistená na 1. nehnojenom variante (42,42 %) a najnižšia na 2. (41,46 %) variante.

3. ZÁVER – ODPORÚČANÉ TECHNOLOGIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV

Prebiehajúca klimatická zmena s extrémami v počasí, keď sa striedajú obdobia sucha s obdobiami s intenzívnymi zrážkami, významnou mierou ovplyvňuje hospodárenie farmárov na pôdach v podmienkach Slovenska. Jedným z riešení je aj využívanie organických hnojív, ktoré významným spôsobom môžu eliminovať dopady klimatických zmien a prispieť k udržateľnému hospodáreniu na pôde, zvyšovaniu sekvencie uhlíka, zvyšovaniu obsahu organických látok a humusu v pôde a tým obohatiť aj biologický život v pôde.

Pestovateľský ročník 2025 bol z hľadiska teploty silne nadnormálny a počas vegetácie mimoriadne nadnormálny. Priemerná teplota vzduchu v priebehu roka bola o 1,5 °C vyššia a počas vegetácie o 1,0 °C vyššia než je dlhodobý normál. Z hľadiska zrážkového úhrnu bolo vegetačné obdobie a aj celý rok 2025 zrážkovo normálny. Úhrn zrážok v priebehu vegetácie kukurice bol na úrovni 89,4 % dlhodobého normálu a počas celého roka 2025 dokonca na úrovni 95,9 % dlhodobého normálu.

Na základe výsledkov pokusu je možné skonštatovať, že organické hnojivá významne zvyšujú úrody oproti nehnojenej kontrole. Výška úrod kukurice pri hnojení organickými hnojivami sa približuje k úrodám dosahovaným pri aplikácii priemyselných hnojív. Aplikácia organických hnojív prináša aj ďalšie benefity súvisiace so životným prostredím, pôdou a kvalitou produkcie plodín.

Z hľadiska obsahu škrobu, zrno kukurice satej pestovanej na všetkých variantoch vyhovovalo STN 46 1100-8. Uvedená STN udáva minimálny obsah škrobu v sušine 68 %. Na sledovaných variantoch sa obsah škrobu vyskytoval v rozmedzí 70,01 – 74,71 %. Najviac škrobu bolo stanovené v zrne kukurice na 7. variante, na ktorom bol pred sejbou do pôdy zapracovaný pôdny regenerátor Effeco by ZZ.

Z hľadiska kvalitatívnych parametrov je možné konštatovať, že aj najvyššia úroda škrobu bola zaznamenaná na 9. variante hnojenom priemyselnými hnojivami (8,81 t.ha⁻¹) a optimálna bola aj na 7. variante (8,01 t.ha⁻¹).

Variant ošetrovania pôdy bol v roku 2025 kľúčovým faktorom ovplyvňujúcim mikrobiálnu biomasu ($p = 0,0025$), pričom predstavoval 53 % celkovej variability. Termín odberu (kvitnutie vs. zrelosť) nevykázal vplyv na biomasu (0 % variability).

Prirodzená heterogenita pôdy mala výrazný vplyv na výsledky, keď biologické opakovania tvorili 46,8 % variability, čo je dôležitý aspekt pri plánovaní budúcich experimentov.

Niektoré organické varianty viedli k zvýšeniu mikrobiálnej biomasy (napr. 7., 8. variant pri kvitnutí; 3., 4., 8. variant pri zrelosti), zatiaľ čo iné (najmä 5., 6. variant) sa držali na úrovni nižších hodnôt. Kontrolné varianty (1. variant bez hnojenia v oboch termínoch, 9. variant hnojený priemyselnými hnojivami pri zrelosti) vykazovali stabilne vyššiu biomasu v porovnaní s viacerými organickými vstupmi.

Celková metabolická aktivita mikroorganizmov hodnotená pomocou CLPP a Biolog EcoPlate bola podobná vo všetkých variantoch, ako vyplýva z AWCD hodnôt. Po 168 hodinách inkubácie nebol medzi variantmi zaznamenaný štatisticky významný rozdiel ($p > 0,05$) ani počas kvitnutia, ani v období zrelosti.

Profil využívania funkčných skupín uhlíkových substrátov bol podobný naprieč všetkými variantmi, bez výrazného efektu organického ošetrovania na zmenu štruktúry metabolických preferencií. Rozdiely sa prejavili iba v intenzite využitia niektorých substrátov, avšak bez konzistentného trendu.

Shannonova funkčná diverzita mikrobiálnych spoločenstiev bola stabilná naprieč variantmi aj termínmi, bez štatisticky významných rozdielov ($p > 0,05$). Najvyššiu a najstabilnejšiu diverzitu si udržali kontrolné varianty.

Zmeny obsahov pôdneho organického uhlíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy boli zanedbateľné a vyskytovali sa v rozmedzí $-0,27 \text{ g.kg}^{-1}$ až $0,28 \text{ g.kg}^{-1}$. Mierne pozitívne zmeny obsahu pôdneho organického uhlíka boli zaznamenané na 2., 4. a 7. variante.

Zmeny obsahov celkového dusíka a prístupných živín (fosfor, draslík, vápnik, horčík) medzi jarným a jesenným odberom pôdy na variantoch s aplikáciou organických hnojív neboli jednoznačné.

Diferencie celkového dusíka v pôde medzi jarným a jesenným odberom boli väčšinou pozitívne a vyskytovali sa v rozmedzí -17 mg.kg^{-1} až $+149 \text{ mg.kg}^{-1}$. Podobne aj zmeny obsahov prístupného fosforu medzi jarným a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch boli väčšinou pozitívne od $+1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ do $+7,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ s výnimkou 5. variantu, na ktorom zostal obsah prístupného fosforu zachovaný.

Zmeny obsahov prístupného draslíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch sa vyskytovali sa v rozmedzí $-10,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ až $+17,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ a prístupného vápnika v rozmedzí $+20 \text{ mg.kg}^{-1}$ až $+94 \text{ mg.kg}^{-1}$ s výnimkou 9. variantu, na ktorom zostal obsah prístupného vápnika zachovaný.

Zmeny obsahov prístupného horčíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch boli pozitívne a vyskytovali sa od $+5,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ do $+12,8 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Hodnoty výmennej pôdnej reakcie sa vyskytovali v rozmedzí od 5,58 do 6,18 a podľa kritérií hodnotenia bola výmenná pôdna reakcia slabo kyslá. Diferencie hodnôt výmennej pôdnej reakcie medzi jarným a jesenným odberom sa vyskytovali v rozpätí $-0,10$ až $+0,01$.

Priemerná vlhkosť pôdy v hĺbke do 0,3 m na variantoch hnojených organickými hnojivami bola zhodná s priemernou vlhkosťou pôdy na variante hnojenom priemyselnými hnojivami (12,22 %). Na nehnojenej kontrole bola priemerná vlhkosť pôdy v hĺbke do 0,3 m len 8,67 %. S poklesom pôdnej hĺbky bol zaznamenaný pokles pôdnej vlhkosti, pričom medzi prvým a tretím pôdnym profilom bol rozdiel pôdnej vlhkosti 4,94 %.

Základné fyzikálne vlastnosti pôdy nevyhovovali Zákonu č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Hodnoty objemovej hmotnosti boli vyššie ako je limitná hodnota pre ílovito-hlinité pôdy (1400 kg.m^{-3}) a celková pórovitosť bola nižšia ako 47 %, čo je minimálna hodnota celkovej pórovitosti pre ílovito-hlinité pôdy. Najlepšie hodnoty fyzikálnych parametrov pôdy boli zistené na 1. variante (1477 kg.m^{-3} – najnižšia objemová hmotnosť pôdy, 42,42 % – najvyššia celková pórovitosť pôdy) a najhoršie na 2. variante (najvyššia objemová hmotnosť pôdy – 1502 kg.m^{-3} , najnižšia celková pórovitosť pôdy – 41,46 %).

4. POUŽITÁ LITERATÚRA

- Barančíková, G. et al. 2019. *Pôdny organický uhlík a jeho odozva na využívanie krajiny Slovenska*. 1. vyd. Bratislava : NPPC – výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, 105 s. ISBN 978-80-8163-0294.
- Barančíková, G., Šoltysová, B., Koco, Š. 2010. Prediction of soil organic carbon stock in conditions of Eastern Slovak Lowland. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 56, no. 2, s. 35-43.
- Bielek, P. 1999. *Obsahy pôdnej organickej hmoty v pôdach SR*. In: GRANEC, M. – ŠURINA, B. 1999. Atlas pôd SR [online], 1999, 60 s. Dostupné na internete: <http://www.podnemapy.sk/portal/prave_menu/atlas_pod_sr/Atlas_pod_SR.pdf>.
- Bielek, P., Jurčová, O. 2010. *Metodika bilancie pôdnej organickej hmoty a stanovenia potreby organického hnojenia poľnohospodárskych pôd*. 2. doplnené vyd. Bratislava : VÚPOP, 145 s. ISBN 978-80-89128-80-8.
- Bízík, J., Zápotočný, V. 2009. *Význam diagnostiky obsahu dusíka v pôde pre výživu rastlín*. [cit 2019-12-9]. Dostupné na internete: <http://old.agroporadenstvo.sk/rv/poda/diagnost_n.htm>.
- Danilovič, M., Hlavatá, H., Šoltysová, B. 2017. Criteria for abnormality evaluation of selected weather parameters in the Slovak Republic. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 63, no. 2, pp. 86-91. ISSN 1335-2415. DOI: 10.1515/agri-2017-0005.
- Fazekašová, D., Poráčová, J. 1999. *Trvalo udržateľné poľnohospodárstvo*. 1. vyd. Prešov : FHPV Prešovskej univerzity, 76 s. ISBN 80-88722-80-2
- Fecenko, J., Ložek, O. 2000. *Výživa a hnojenie poľných plodín*. 1. vyd. Nitra : SPU Nitra. 452 s. ISBN 80-7137-777-5.
- Gömöryová, E., Gömöry, D. 2013. Vývoj niektorých pôdnych charakteristík na kalamitných plochách Tanapu v období rokov 2006-2012. In: *16. pedologické dny 2013 : Časové zmeny pôdných vlastností a jejich predikce : Sborník příspěvků*. Milovy : Mendelova univerzita v Brně, 2013, s. 12-18.
- Hraško, J. et al. 1962. *Rozbory pôd*. 1. vyd. Bratislava : SVPL, 342 s.
- Hraško, J., Červenka, L., Facek, Z., Komár, J., Něměček, J., Pospíšil, J., Sirový, V. 1962. *Rozbory pôd*. Bratislava : Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 342 s.
- Hrivňáková, K., Makovníková, J., Barančíková, G., Bezák, P., Bezáková, Z., Dodok, R., Greco, V., Chlpík, J., Kobza, J., Listjak, M., Mališ, J., Píš, V., Schlosserová, J., Slávik, O., Širáň, M. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. 1. vyd. Bratislava : VÚPOP, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1.
- Husson, O. et al. 2021. Soil and plant health in relation to dynamic sustainment of Eh and pH homeostasis. In: *Plant Soil*, <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05047-z>.
- Javorský, P., Fojtíková, D., Kalaš, V., Kratochvíl, J., Schwarz, M. 1987. *Chemické rozborov v zemědělských laboratořích*, 1. díl. Praha : Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR, 1987. 288 s.
- CHesworth, W. 2008. *The Encyclopedia of Soil Science*. Dordrecht : Springer, s. 91-97.
- Javorský, P., Fojtíková, D., Kalaš, V., Kratochvíl, J., Schwarz, M. 1987. *Chemické rozborov v zemědělských laboratořích*, 1. díl. Praha : Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR, 1987. 288 s.
- Ložek, O., Fecenko, J., Borecký, V. 1995. *Základy výživy a hnojenia rastlín*. 1. vyd. Nitra : NOI Nitra, 1995. 134 s. ISBN 80-85330-21-0.

- Masaryk, Š. a kol. 1980. *Vápnenie pôd*. 1. vyd. Bratislava : Príroda, 1980. In: Fecenko, J., Ložek, O. 2000. *Výživa a hnojenie poľných plodín*. 1. vyd. Nitra : SPU Nitra, 2000. 452 s. ISBN 80-7137-777-5
- Ministerstvo životného prostredia SR 2014. *Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy*. 103 s.
- Sobocká, J., Šurina, B., Torma, S., Dodok, R. 2005. *Klimatická zmena a jej možné dopady na pôdny fond Slovenska*. 1. vyd. Bratislava : VÚPOP, 2005. 46 s.
- Sotáková, S. 1982. *Organická hmota a úrodnosť pôdy*. 1. vyd. Bratislava : Príroda, 1982. 234 s.
- Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o agrochemickom skúšaní pôd a o skladovaní a používaní hnojív. 20 s.
- Zákon č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Zbierka zákonov č. 220/2004, čiastka 96, s. 2278-2213.
- Zaujec, A., Kobza, J. 2002. The content and quality of soil organic matter in key monitoring sites observing by soil monitoring system of the Slovak Republic. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 48, vo. 9, pp. 492-499.