

Č.j.: UKZUZ 028358/2024

Česká republika - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
organizační složka státu, se sídlem v Brně
Sekce zemědělských vstupů



Porovnání účinnosti digestátů s různými typy hnojiv při hospodaření ve zranitelné oblasti

Výroční zpráva o výsledcích přesné polní zkoušky
1. pokusný rok 3. osevního sledu, rok 2023

Zpracoval: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
Oddělení výživy rostlin

Předkládá: Ing. Josef Svoboda, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno

únor 2024

Obsah

strana

1 Úvod.....	2
1.1 Popis odrůdy.....	2
1.2 Agrotechnické záznamy během vegetace	3
1.3 Klimatické podmínky	4
1.4 Hodnocené parametry	5
1.5 Právní a metodická podpora	5
2 Způsob hnojení a dávky živin	6
2.1 Dávky živin a použítá hnojiva.....	6
2.2 Chemické složení použitých hnojiv	6
3 Sklizňové výsledky	7
3.1 Sklizňové výsledky brambor	7
3.2 Statistické zhodnocení výnosů brambor.....	8
4 Anorganické rozborů a technologické vlastnosti brambor.....	10
4.1 Popis chemických metod pro stanovení rostlinných vzorků	10
4.2 Obsah makroelementů v hlízách	10
4.3 Odběr živin hlízami	11
4.4 Obsah škrobu v hlízách	12
4.5 Obsah nitrátů v hlízách.....	13
4.6 Velikostní třídění hlíz.....	14
5 Efektivita využití dusíku z hnojiv	15
5.1 Utilizace dusíku.....	15
5.2 Efektivita využití dusíku	15
6 Bilance dusíku	16
7 Agrochemické rozborů půdních vzorků	17
7.1 Popis chemických metod.....	17
7.2 Půdní reakce, obsah přístupných živin a mikroelementů	17
7.3 Hodnocení půdní organické hmoty	19
7.4 Hodnocení změn obsahu minerálního dusíku	21
8 Mikrobiologické metody a extrakce uhlíku	24
9 Závěry.....	27
10 Použítá literatura	29

1 Úvod

Název zkoušky: Porovnání účinnosti digestátů s různými typy hnojiv při hospodaření ve zranitelné oblasti

Účel zkoušky: Porovnání hnojivé účinnosti digestátů, kejdy, kompostu na výnos, kvalitu produkce a půdní vlastnosti při hospodaření ve zranitelné oblasti.

Druh zkoušky: polní zkouška byla založena v roce 2011 ve výrobním typu bramborářském v Lípě u Havlíčkova Brodu na plochách výživářské báze jako přesná víceletá. V roce 2013 byla rozšířena a založena na dalších dvou stanicích, a to v Jaroměřicích nad Rokytnou a Hradci nad Svitavou. Rok 2023 byl 1. rokem 3. osevního sledu, pěstovanou plodinou byly brambory rané odrůda Vysočina.

Osevní sledy

I	II	III	Zařazení plodin	kg/N/ha v LAV, digestátech, kejdě	kg/N/ha v kompostu
2011	2017	2023	brambory rané	120	240
2012	2018	2024	pšenice ozimá	120	240
2013	2019	2025	kukuřice na siláž	150	300
2014	2020	2026	ječmen jarní	120	260
2015	2021	2027	hrách	40	80
2016	2022	2028	ozimá pšenice	120	240

Varianty hnojení: v polní zkoušce je zařazeno 5 variant hnojení.
Každá varianta je 4x opakována na jedné odrůdě.

Varianty	způsob/druh hnojení
1.	Nehnojeno
2.	Minerální hnojivo LAV (bilanční dávka)
3.	Kejda (bilanční dávka podle N)
4.	Digestát Lípa (bilanční dávka podle N)
5.	Digestát Opatov (bilanční dávka podle N)
6.	Kompost (bilanční dávka podle N x 2)

V polní zkoušce je zařazeno 6 variant hnojení, každá je 4x opakována na jedné odrůdě

1.1 Popis odrůdy

Popis odrůdy: Vysočina je raná až poloraná odrůda se středním až vysokým výnosem oválných a vzhledově vyrovnaných hlíz (s mělkými očky). Vysočina je konzumní odrůda, varný typ A/B. Barva dužniny je žlutá, slupka taktéž žlutá, jemná a hladká. Má dobrou stabilitu barvy za syrova i po uvaření.

1.2 Agrotechnické záznamy během vegetace

Po sklizni ozimé pšenice v r. 2022 byla na všech stanicích vyseta meziplodina (svazenka s peluškou), která byla zmulčována v listopadu, popřípadě prosinci. Zelená hmota byla ponechána přes zimní období, zapravení vymrzlých mezipločin bylo provedeno jarní orbou.

Hradec n. Svitavou: na počátku vegetace v dubnu bylo velmi vlhké a chladnější počasí, proto výsadba proběhla až 5. 5. 2023. Celé období od května do září, s výjimkou května bylo teplé až velmi teplé a suché až velmi suché, s výjimkou srpna, který byl velmi vlhký. Od vzejití až do začátku srpna byly rostliny menší, nedošlo k plnému zapojení porostu mezi řádky, projevilo se předčasné žloutnutí natě, což ovlivnilo výnosy. Sklizeň proběhla dne 26. 9. 2023.

Jaroměřice n. Rokytou: duben 2023 byl velmi deštivý a teplotně podprůměrný, proto výsadba brambor proběhla až 4. 5. 2023. Od května až do konce vegetace byly všechny měsíce srážkově podprůměrné a většina měsíců i teplotně nadprůměrná. Porost brambor se z důvodu sucha plně nezapojil. Během vegetace bylo provedeno 3x oborání plečkou, 2x vláčení prutovými branami za účelem likvidace plevelů, nahrnutí natě bylo provedeno 3. 7. a rozbití natě 14. 9. Sklizeň byla provedena 20. 9. 2023. Hraboš polní i přes pravidelnou aplikaci povolených přípravků poškodil kolem 5 % hlíz brambor. Proti mandelince bramborové bylo provedeno pouze jedno ošetření. Plíseň bramborová se v porostu vlivem sucha téměř nešířila, naproti tomu byl zaznamenán silný výskyt hnědé skvrnitosti (*Alternaria* spp.), které vyhovuje suššímu počasí.

Lípa: duben se podobal spíše zimnímu období, srážky byly převážně ve formě deště se sněhem. Proto výsadba proběhla až dne 4. 5. 2023 do dobře připravené, ale mírně hrudovité půdy. Květen a červen byl charakteristický nadprůměrnými teplotami a podprůměrnými srážkami v podobě krátkých dešťových přeháněk, proto porost zasychal. Podobný ráz počasí byl zaznamenán i v červenci, velmi vysoké (tropické) denní teploty s minimem srážek (10. 7. kroupy), mírné ochlazení a přehánky se vyskytly v poslední dekádě července. Počátek srpna byl chladný a deštivý. Září a říjen bylo opět sucho s nadprůměrnými teplotami. Sklizeň proběhla 7. 10. 2023.

1.3 Klimatické podmínky

Průměrné měsíční teploty a měsíční úhrn srážek za rozhodující období pokusného roku byly porovnány s normálem a jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1: Měsíční úhrny srážek v r. 2022/2023

Stanoviště	Průměrné měsíční srážky (mm)													Σ roční
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Hradec n. Svit.														
suma srážek	78	19	21	35	25	27	26	77	40	36	41	141	8,7	566
měsíční normál	57	40	42	42	38	32	43	38	66	68	88	71	61	625
% normálu	136	48	51	83	65	86	60	203	60	53	47	198	14	91
Jaroměřice n. R.														
suma srážek	35	14	21	28	23	24	18	78	42	38	31	59	7,1	418
měsíční normál	40	29	32	27	24	19	30	29	61	65	72	63	55	516
% normálu	88	48	67	102	95	124	60	269	70	58	44	93	13	81
Lípa														
suma srážek	70	16	26	38	28	36	46	75	39	33	36	146	4,5	580
měsíční normál	51	36	42	39	35	26	35	28	63	70	81	81	51	491
% normálu	137	45	61	98	79	137	131	267	61	48	45	180	9	118

Jarní období bylo chladné a deštivé. Pro stěžejní vegetační letní měsíce byly typické významné deficity srážek s nadnormálními teplotami.

Tab. 2: Průměrné měsíční teploty v roce 2022/2023

Stanoviště	Průměrné měsíční teploty a normál (°C)													Ø roční
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Hradec n. Svit.														
prům. teplota	11,8	10,8	4,2	0,0	2,0	1,3	4,7	6,3	12,7	17,1	19,5	18,8	16,3	9,1
měsíční normál	12,7	7,7	2,1	-0,9	-2,2	-1,1	2,5	7,9	12,7	16,1	17,7	17,6	12,7	7,8
Jaroměřice n. R.														
prům. teplota	12,9	10,6	4,4	0,1	2,2	1,9	5,2	7,4	13,5	18,2	21,5	19,9	17,9	10,4
měsíční normál	13,4	8,0	2,3	-0,9	-1,6	-0,3	3,6	9,0	13,7	17,5	19,3	19,0	13,7	8,8
Lípa														
prům. teplota	12,1	10,6	4,4	0,1	1,8	1,1	4,8	6,4	12,5	17,2	20,1	19,0	16,8	9,8
měsíční normál	12,8	7,9	2,3	-0,6	-1,7	-0,1	3,0	8,2	12,7	16,2	17,8	17,6	12,7	8,1

1.4 Hodnocené parametry

Za účelem sledování změn agrochemických vlastností půdy se po sklizni všech pokusných plodin odebírají půdní vzorky z každé varianty hnojení, ve kterých je stanoveno pH/CaCl₂, obsah přístupných živin, mikroelementů a půdní organické hmoty. U všech variant se provádí sledování obsahu N_{min}. Vzorky se odebírají na jaře a na podzim z horizontu 0-30 cm. Mikrobiologické parametry se sledují pouze na stanovišti Jaroměřice nad Rokytou.

V rostlinných vzorcích se sleduje obsah sušiny, N, P, K, Mg, Ca a vybrané technologické parametry. Na základě znalosti vstupních a výstupních údajů se počítá bilance dusíku, popřípadě jeho využití plodinami.

Tab. 3: Charakteristika zkušebních stanovišť

Charakteristika	Hradec n. Svitavou	Jaroměřice n. Rokyt.	Lípa
Zkratka	HRA	JAR	LIP
Kraj	Pardubický	Vysočina	Vysočina
Okres	Svitavy	Třebíč	Havlíčkův Brod
Výrobní oblast	bramborářská	bramborářská	bramborářská
Nadmořská výška	460 m n. m.	425 m n. m.	505 m n. m.
Prům. roční teplota	6,5 °C	8,0 °C	7,7 °C
Roční úhrn srážek	624 mm	481 mm	632 mm
Půdní typ	HNm hnědozem jílovitohlinitá	HNm hnědozem jílovitohlinitá	KAg kambizem pseudoglejová
Půdní druh	písčitohlinitá	hlinitá	písčitohlinitá
Hloubka ornice	22-25 cm	25 cm	18-20 cm

1.5 Právní a metodická podpora

- Zákon č. 147/2002 Sb., o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském), ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška č. 275/1998 Sb., o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů.
- Vyhláška č. 309/2021 Sb., o odběrech a chemických rozbořech vzorků hnojiv, § 9 Chemické rozbořky a biologické zkoušky
- Metodické pokyny ÚKZÚZ vztahující se k pokusu
 - 01/VR Základní metodika přesných polních a nádobových zkoušek
 - 02/VR Prováděcí metodiky polních stacionárních zkoušek

2 Způsob hnojení a dávky živin

2.1 Dávky živin a použítá hnojiva

Minerální dusík (LAV) se aplikuje v dávce, kterou v daném roce pokusná plodina odčerpá plánovanou sklizní (bilanční dávka dusíkatého hnojení v ledku amonném s vápencem). Základní dávka dusíku je pro brambory rané 120 kg/ha, pro kukuřici 150 kg/ha, pro pšenici ozimou 120 kg/ha, ozimou řepku 120 kg/ha. Na tuto hladinu minerálního hnojení dusíkem se dopočítávají aplikační dávky ostatních hnojiv, tj. kejdy, digestátů, kompostu (podle jejich aktuálního obsahu dusíku a sušiny). Nehnojí se dalšími živinami (P, K, Mg, Ca).

Kompost je zařazen do kategorie hnojiv s pomalu uvolnitelným dusíkem, proto je vypočítaná aplikační dávka podle obsahu N dvojnásobná. Kompost ve všech letech pochází z kompostárny Fertia, a.s. z Náměšti nad Oslavou.

U organických hnojiv (digestáty, kompost) a kejdy se zjišťuje obsah základních živin, hodnota pH, organických látek a vypočítává se poměr C:N. Digestáty pochází vždy z bioplynové stanice Lípa u Havlíčkova Brodu a z Opatova, které zpracovávají kukuřičnou siláž, chlévskou mrvu a GPS. Suroviny pro výrobu digestátů jsou následující:

Digestát (DG) Lípa - siláž, kejda skotu

Digestát (DG) Opatov - siláž, jetelotravní senáž, hnůj skotu, kejda prasat

Podle vyhlášky č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů je *kejda* definována jako *statkové hnojivo*, *digestát* a *kompost* jako organické *organických*. Z důvodu zkrácení textu je používán v hodnocení výsledků termín organické hnojivo pro všechny tři typy.

2.2 Chemické složení použitých hnojiv

Použitá organická hnojiva (digestáty, kompost) a statkové hnojivo kejda byla analyzována před aplikací na jaře 2023 (tab. 3). Kompost byl v plné dávce aplikován na podzim 2022.

Tab. 5: Chemické složení a dávky použitých hnojiv

Použitá hnojiva	Chemické vlastnosti - obsah v sušině							Bilanční dávka hnojiv 120 kg (*240) N/ha	
	Sušina (%)	pH	C:N	Celkový N (%)	spalitelné látky min. (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Dávka t/ha	Dávka kg/parcela 40 m ²
3.Kejda Lípa	8,27	7,6	9,54	4,24	80,87	0,60	2,36	34,2	137
4.DG Lípa	7,63	8,4	6,32	6,02	76,13	0,97	4,57	26,1	105
5.DG Opatov	6,28	7,6	4,96	7,63	70,56	0,59	2,36	25,0	100
6. Kompost *	65,7	7,8	9,38	1,60	25,09	0,80	1,50	34,8	139

3 Sklizňové výsledky

3.1 Sklizňové výsledky brambor

Výnos hlíz je hodnocen v tunách na hektar. Pro vyjádření výrobnosti je uveden také přepočet na obilní jednotky (OJ), které slouží k hodnocení produktivity plodin odlišných botanických druhů v osevním sledu.

Tab. 6: Průměrný výnos hlíz brambor, stanice **Hradec n. Svitavou** (t/ha)

Varianta hnojení	Ø výnos OJ/ha	Výnos za opakování				Průměr	Relativní srovnání (%)	
		A	B	C	D			
1.Nehnojeno	5,07	21,3	20,6	20,7	18,5	20,3	63,8	100
2.LAV	7,95	30,5	34,1	30,9	31,7	31,8	100	156,6
3.Kejda Lípa	6,74	29,3	26,5	27,7	24,3	26,9	84,8	132,8
4.DG Lípa	6,85	28,8	29,8	25,9	25,1	27,4	86,2	135,0
5.DG Opatov	6,08	25,4	23,9	22,7	25,4	24,3	76,5	119,9
6.Kompost	4,36	18,2	17,8	16,5	17,2	17,4	54,8	85,8

Tab. 7: Průměrný výnos hlíz brambor, stanice **Jaroměřice n. Rokytnou** (t/ha)

Varianta hnojení	Ø výnos OJ/ha	Výnos za opakování				Průměr	Relativní srovnání (%)	
		A	B	C	D			
1.Nehnojeno	5,13	21,4	20,1	21,2	19,4	20,5	84,2	100
2.LAV	6,09	24,6	25,1	23,2	24,6	24,4	100	118,8
3.Kejda Lípa	5,80	22,6	23,9	24,1	22,2	23,2	95,2	113,1
4.DG Lípa	5,77	22,7	24,5	22,8	22,4	23,1	94,7	112,5
5.DG Opatov	6,16	24,6	25,4	25,5	23,1	24,7	101,2	120,2
6. Kompost	5,89	22,8	23,6	24,7	23,2	23,6	96,7	114,9

Tab. 8: Průměrný výnos hlíz brambor, stanice **Lípa** (t/ha)

Varianta hnojení	Ø výnos OJ/ha	Výnos za opakování				Průměr	Relativní srovnání (%)	
		A	B	C	D			
1.Nehnojeno	4,11	17,3	15,7	16,1	16,5	16,4	64,9	100
2.LAV	6,33	26,2	25,6	24,1	25,4	25,3	100	154,1
3.Kejda Lípa	4,58	19,0	19,5	17,4	17,3	18,3	72,4	111,5
4.DG Lípa	5,51	22,3	23,1	21,9	21,0	22,1	87,2	134,3
5.DG Opatov	5,00	19,6	20,5	19,2	20,6	20,0	79,0	121,7
6.CMC kompost	4,30	17,5	17,1	18,2	16,1	17,2	68,0	104,8

Půdní, klimatické a výživové podmínky ovlivnily výnosy bez ohledu na varianty v následujícím pořadí: Hradec > Jaroměřice > Lípa. Po LAV byl zaznamenán nejvyšší

průměrný výnos v Hradci (31,8 t/ha). V Jaroměřicích a Lípě byly průměrné výnosy po LAV přibližně shodné mezi 24,4 - 25,3 t/ha.

Kejda zvýšila výnosy o 11 - 32 % proti nehnojené kontrole, přičemž nejvýrazněji se její aplikace projevila v Hradci. Celkový průměr dosáhl 22,8 t/ha.

Oba digestáty působily na výnos brambor na všech lokalitách velmi podobně. Po jejich aplikaci činilo rozpětí výnosu 24,3 - 27,4 t/ha (Hradec) a 23,1 - 24,7 t/ha (Jaroměřice). Na písčitohlinité kambizemi v Lípě byly podobně jako v předchozích letech výnosy nejnížší, a to v rozmezí od 20 do 22,1 t/ha (tab. 6-8). Zvýšení výnosu proti kontrole činilo 21,7 - 34,3 %.

Vliv kompostu aplikovaného na podzim 2022 před přípravou půdy se nejlépe projevil v Jaroměřicích, zvýšení proti kontrole činilo 14,9 %, tj. 26,3 t/ha. Naopak nejslabší reakce výnosu na kompost byla zaznamenána v Hradci, o 14,2 % nižší než u kontroly.

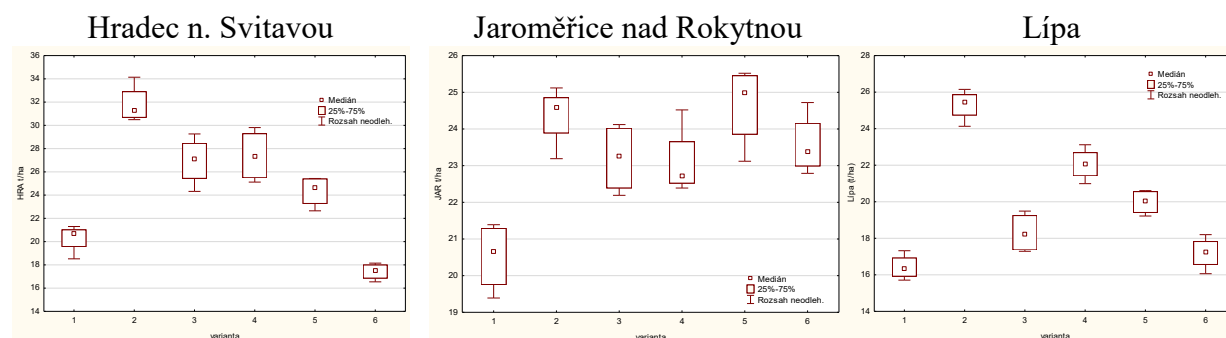
Tab. 9: Průměrný výnos hlíz brambor všechna stanoviště

Varianty hnojení	Ø výnos OJ/ha	Výnos hlíz brambor (t/ha)				Relativní srovnání (%)	
		Hradec	Jaroměřice	Lípa	Průměr		
1.Nehnojeno	5,83	20,3	20,5	16,4	19,08	70,3	100
2.LAV	6,11	31,8	24,4	25,3	27,16	100	142,3
3.Kejda Lípa	6,01	26,9	23,2	18,3	22,82	84,0	119,6
4.DG Lípa	6,00	27,4	23,1	22,1	24,18	89,0	126,7
5.DG Opatov	5,43	24,3	24,7	20,0	22,99	84,6	120,5
6.Kompost	1,45	17,4	23,6	17,2	19,40	71,4	101,7

3.2 Statistické zhodnocení výnosů brambor

Výnosy brambor byly statisticky vyhodnoceny jednofaktorovou analýzou variance s testováním průkaznosti rozdílů Tukey testem na hladině významnosti $P < 0,05$. Statistické analýzy byly provedeny s využitím programu STATISTICA verze 12, StatSoft, Inc. (2013). Statisticky významné rozdíly a směrodatné odchylky jsou uvedeny v tabulce 10.

Graf 1: Krabicový graf vícenásobného porovnání vlivu hnojení na výnos brambor



Statisticky vysoce průkazné rozdíly byly zjištěny mezi výnosy kontroly a minerálním hnojením, digestáty a dále kejdou na všech stanovištích. Aplikace kompostu pouze v Jaroměřicích průkazně zvýšila výnos proti kontrole, v Hradci byly výnosy průkazně nižší než u kontroly. Na Lípě mezi kontrolou a variantou s kompostem nebyly rozdíly.

Oba digestáty, kejda i kompost neprůkazně v celkovém hodnocení tří stanovišť zvýšily

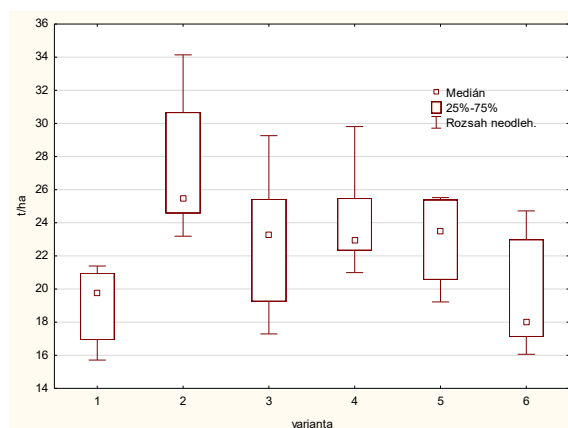
výnos proti kontrole. Souhrnné zhodnocení tří lokalit (graf 2) ukazuje, že individuální rozdílnost stanovišť se stírá, přičemž na výnos působilo nejvýrazněji minerální hnojení.

Tab. 10: Průměrný výnos hlíz brambor všechna stanoviště

Varianty hnojení	Průměr (t/ha); směrodatná odchylka		
	Hradec n. Svitavou	Jaroměřice n. Rokytinou	Lípa
1.Nehnojeno	20,30 ± 1,22 ^a	20,50 ± 0,94 ^a	16,42 ± 0,69 ^a
2.LAV	31,80 ± 1,64 ^b	24,59 ± 0,83 ^b	25,30 ± 0,83 ^b
3.Kejda Lípa	26,90 ± 2,07 ^c	23,20 ± 0,96 ^b	18,31 ± 1,11 ^{ab}
4.DG Lípa	27,40 ± 2,25 ^c	23,10 ± 0,97 ^b	22,27 ± 0,87 ^c
5.DG Opatov	24,30 ± 1,30 ^c	24,59 ± 1,10 ^b	19,98 ± 0,68 ^d
6.Kompost	17,40 ± 0,72 ^d	23,60 ± 0,83 ^b	17,20 ± 0,89 ^a

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $P < 0,05$

Graf 2: Porovnání vlivu hnojení na výnos brambor, pokusná stanoviště souhrnně (odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $P < 0,05$)



Varianty hnojení	průměrný výnos (t/ha)	Medián (Me)	standardní odchylka (±)
1	19,08 ^a	19,76	2,15
2	27,16 ^d	25,47	3,60
3	22,82 ^{bc}	23,26	3,93
4	24,18 ^{cd}	22,96	2,77
5	22,99 ^{bc}	23,51	2,42
6	19,40 ^{ab}	18,00	3,17

4 Anorganické rozborů a technologické vlastnosti brambor

Anorganické rozborů byly provedeny v reprezentativních vzorcích hlíz brambor, které byly odebrané z každé pokusné varianty při sklizni. Analýzy provedla akreditovaná laboratoř NRL ÚKZÚZ Brno.

4.1 Popis chemických metod pro stanovení rostlinných vzorků

Stanovení dusíku, fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku: při mineralizaci na mokré cestě byly rostlinné vzorky oxidovány H_2O_2 v H_2SO_4 za katalytického působení selenu. Stanovení bylo provedeno metodou AES-ICP. Nejistota stanovení vyjadřující pološíří intervalu, ve kterém se s 95 % pravděpodobností nachází výsledek, činí pro N, P, K 8 %, Ca 0,02 %, Mg 10 %.

Stanovení nitrátového dusíku: obsah dusičnanů v čerstvé hmotě byl stanoven přímou potenciometrií s použitím iontově selektivní dusičnanové elektrody na přístroji HI 3222pH/ORP/ISE Metr firmy Hanna Instruments. Výpočet koncentrace ve vzorcích se provádí metodou kalibrační křivky. (JPP 4002.1, 40056.1.)

Stanovení škrobu: metodou NIR spektroskopie na přístroji ANTARIS II FT-NIR. K vyhodnocování byly použity matematicko-statistické postupy z kalibračního modelu (JPP 50050.1.). Nejistota stanovení je 2,5 %.

4.2 Obsah makroelementů v hlízách

Tab. 11: Průměrné obsahy živin v hlízách brambor

Stanice	Varianta	Průměrný obsah živin v sušině % (n = 3)				
		N	P	K	Mg	Ca
Jaroměřice n. Rokytnou	1.Nehnojeno	1,55	0,20	1,66	0,12	0,04
	2.LAV	1,52	0,19	1,47	0,10	0,05
	3.Kejda Lípa	1,58	0,18	1,90	0,11	0,05
	4.DG Lípa	1,57	0,17	1,96	0,12	0,05
	5.DG Opatov	1,54	0,16	2,14	0,13	0,04
	6.Kompost	1,55	0,17	1,92	0,13	0,04
Lípa	1.Nehnojeno	1,51	0,18	1,69	0,10	0,06
	2.LAV	1,52	0,19	1,66	0,11	0,05
	3.Kejda Lípa	1,58	0,18	1,99	0,12	0,05
	4.DG Lípa	1,53	0,17	1,99	0,13	0,06
	5.DG Opatov	1,61	0,16	1,97	0,12	0,06
	6.Kompost	1,55	0,15	2,06	0,13	0,05
Hradec n. Svitavou	1.Nehnojeno	1,46	0,19	1,64	0,10	0,06
	2.LAV	1,45	0,20	1,48	0,09	0,07
	3.Kejda Lípa	1,45	0,16	1,94	0,10	0,07
	4.DG Lípa	1,49	0,15	2,04	0,11	0,07
	5.DG Opatov	1,52	0,16	1,90	0,11	0,05
	6.Kompost	1,52	0,17	2,05	0,11	0,05
Průměrný odběr	1.Nehnojeno	1,50	0,19	1,66	0,11	0,05
	2.LAV	1,50	0,19	1,53	0,10	0,06
	3.Kejda Lípa	1,54	0,17	1,94	0,11	0,06
	4.DG Lípa	1,53	0,16	2,00	0,12	0,06
	5.DG Opatov	1,56	0,16	2,00	0,12	0,05
	6.Kompost	1,54	0,17	2,01	0,12	0,05

V obsahu dusíku a fosforu nebyly mezi jednotlivými variantami zjištěny výrazné rozdíly. Obsah draslíku v hlízách brambor zvyšovalo hnojení kejdou, digestáty a kompostem. Žádné ze sledovaných hnojiv se významněji nepromítlo do obsahu hořčíku a vápníku v hlízách.

4.3 Odběr živin hlízami

Výpočet množství základních živin exportovaných výnosem hlíz prezentuje tabulka 12. Rozdíly mezi lokalitami v odběru živin vzhledem k výši výnosu jsou evidentní. Zejména na Lípě jsou pozorovány trvale nejnižší exporty všech pěti hodnocených živin. Pozoruhodný je poměrně vysoký odběr dusíku (115,1 kg N/ha) v Hradci, který souvisí s nejvyšším zaznamenaným výnosem 31,8 t/ha na variantě hnojené minerálně. Nejnižší odběr dusíku byl zjištěn po aplikaci kompostu na všech třech stanovištích od 66 do 91 kg N/ha. Brambory jsou plodinou se zvýšenými nároky na hnojení draslíkem, proto i jejich odběr u většiny hnojených variant byl vyšší než 110 kg K/ha.

Tab. 12: Průměrný odběr živin hlízami brambor

Stanice	Varianta	Průměrný odběr živin kg/ha (n = 3)				
		N	P	K	Mg	Ca
Jaroměřice n. Rokytnou	1.Nehnojeno	79,3	10,4	85,2	6,1	1,9
	2.LAV	92,6	11,5	89,5	6,0	2,9
	3.Kejda Lípa	91,4	10,6	110,2	6,6	2,7
	4.DG Lípa	90,8	9,9	113,1	6,7	2,8
	5.DG Opatov	94,9	9,9	132,1	7,7	2,7
	6.Kompost	91,0	10,1	113,3	7,5	2,4
Lípa	1.Nehnojeno	62,0	7,6	69,2	4,1	2,5
	2.LAV	96,3	11,7	104,7	6,8	3,5
	3.Kejda Lípa	72,5	8,2	91,1	5,4	2,5
	4.DG Lípa	84,5	9,2	109,6	7,1	3,1
	5.DG Opatov	80,4	7,8	98,4	6,2	2,8
	6.Kompost	66,6	6,6	88,6	5,4	2,0
Hradec n. Svitavou	1.Nehnojeno	73,9	9,6	83,3	4,9	3,0
	2.LAV	115,1	15,5	117,6	7,0	5,2
	3.Kejda Lípa	97,9	10,6	130,7	6,8	4,7
	4.DG Lípa	102,3	10,5	139,7	7,3	4,5
	5.DG Opatov	92,3	9,9	115,4	6,4	3,2
	6.Kompost	66,3	7,6	89,2	4,6	2,3
Průměrný odběr	1.Nehnojeno	71,8	9,2	79,2	5,0	2,5
	2.LAV	101,3	12,9	103,9	6,6	3,9
	3.Kejda Lípa	87,2	9,8	110,7	6,3	3,3
	4.DG Lípa	92,5	9,9	120,8	7,0	3,5
	5.DG Opatov	89,2	9,2	115,3	6,8	2,9
	6.Kompost	74,6	8,1	97,0	5,8	2,3

4.4 Obsah škrobu v hlízách

Škrob je hlavní látkou obsaženou v sušině hlíz, jeho obsah je ovlivněn odrůdou a klimatickými podmínkami, na kterých závisí průběh fotosyntézy, tj. sluneční záření a teplota. Škrob plní v rostlinném organismu funkci hlavní zásobní látky, protože je pohotovou zásobou glukózy. Brambory odrůd určených pro konzumní účely obsahují v průměru 11 až 16 % škrobu, limitní hodnotou hlíz určených pro zpracovatelský průmysl je 18 % v čerstvé hmotě. Ta byla nepatrně překročena pouze v Jaroměřicích po variantě hnojené LAV.

Pro objektivní hodnocení vlivu hnojení je vypočítán i hektarový výnos škrobu, který vychází z výnosu hlíz a z obsahu škrobu v čerstvé hmotě.

Tab. 13: Průměrný obsah škrobu v hlízách brambor

Stanice	Varianta	Průměrný obsah škrobu % (n = 3)			Výnos škrobu t/ha
		Škrob v č. h. %	Relativní srovnání (%)		
Jaroměřice n. Rokytnou	1.Nehnojeno	17,9	99,4	100	3,7
	2.LAV	18,0	100	100,6	4,4
	3.Kejda Lípa	17,1	95,0	95,5	4,0
	4.DG Lípa	17,0	94,4	95,0	3,9
	5.DG Opatov	17,4	96,7	97,2	4,3
	6.Kompost	16,9	93,9	94,4	4,0
Lípa	1.Nehnojeno	15,0	95,5	100	2,5
	2.LAV	15,8	100	104,7	4,0
	3.Kejda Lípa	15,1	96,2	100,7	2,8
	4.DG Lípa	13,8	87,9	92,0	3,0
	5.DG Opatov	13,3	84,7	88,7	2,7
	6.Kompost	14,2	90,4	94,7	2,4
Hradec n. Svitavou	1.Nehnojeno	16,7	99,8	100	3,4
	2.LAV	16,7	100	100,2	5,3
	3.Kejda Lípa	15,7	93,6	93,8	4,2
	4.DG Lípa	14,9	89,2	89,4	4,1
	5.DG Opatov	14,2	84,8	85,0	3,5
	6.Kompost	14,2	85,0	85,1	2,5
Průměrný obsah	1.Nehnojeno	16,5	98,2	100	3,2
	2.LAV	16,8	100	101,8	4,6
	3.Kejda Lípa	16,0	95,2	97,0	3,6
	4.DG Lípa	15,2	90,5	92,1	3,7
	5.DG Opatov	14,9	88,7	90,3	3,4
	6.Kompost	15,1	89,9	91,5	2,9

Obsah škrobu se pohyboval na třech pokusných lokalitách v rozpětí od 15,1 do 16,8 %. Hnojení LAV průměrný obsah škrobu (16,8 %), stejně jako jeho hektarový výnos (4,6 t/ha), zvýšilo nejvíce. Naopak nejnižší produkce škrobu se připisuje kompostu na všech třech stanicích. Po hnojení kejdou a digestáty obsah škrobu i jeho výnos vesměs klesal proti kontrole i variantě LAV.

4.5 Obsah nitrátů v hlízách

Dusičnany jsou běžnou minerální formou dusíku, kterou rostliny snadno z půdy přijímají. Nahromadění většího množství v konzumních částech může představovat určité zdravotní riziko. U kojenců jsou dusičnany vysoce nebezpečné, protože mohou vést ke vzniku methemoglobinémie. U dospělého člověka je organismus schopen vyloučit až 80 % přijatých dusičnanů. Zdravotní riziko dusičnanů vzniká po přeměně na dusitaný a případně na nitrosaminy. Dusičnany ale nepředstavují při běžné konzumaci reálné riziko, neboť akceptovatelné množství přijímaných dusičnanů činí 3,7 mg/kg tělesné hmotnosti, přičemž reálné množství konzumovaných dusičnanů v potravě často nedosahuje ani poloviny tohoto limitu. Navíc přítomnost antioxidantů, především vitamínu C v zelenině kompenzuje jejich potenciální škodlivost.

Tab. 14: Průměrný obsah nitrátů v hlízách brambor

Stanice	Varianta	Průměrný obsah N-NO ₃ ⁻ v čerstvé hmotě (n = 3)		
		N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	relativní srovnání (%)	
Jaroměřice n. Rokytnou	1.Nehnojeno	478	74,3	100
	2.LAV	643	100	134,5
	3.Kejda Lípa	649	100,9	135,8
	4.DG Lípa	886	137,7	185,3
	5.DG Opatov	813	126,4	170,0
	6.Kompost	686	106,6	143,4
Lípa	1.Nehnojeno	785	120,5	100
	2.LAV	651	100	83,0
	3.Kejda Lípa	744	114,3	94,9
	4.DG Lípa	710	109,0	90,5
	5.DG Opatov	949	145,7	120,9
	6.Kompost	618	95,0	78,8
Hradec n. Svitavou	1.Nehnojeno	656	95,1	100
	2.LAV	690	100	105,2
	3.Kejda Lípa	912	132,2	139,0
	4.DG Lípa	878	127,2	133,8
	5.DG Opatov	872	126,3	132,9
	6.Kompost	621	90,0	94,7
Průměrný obsah	1.Nehnojeno	640	96,8	100
	2.LAV	661	100	103,3
	3.Kejda Lípa	769	116,3	120,2
	4.DG Lípa	825	124,8	128,9
	5.DG Opatov	878	132,8	137,2
	6.Kompost	642	97,1	100,3

Limity dusičnanů 300 mg/kg N-NO₃⁻ pro pozdní produkci brambor určovala vyhláška č. 306/2004 Sb. Tento předpis již není platný, na úrovni EU je platné nařízení Komise č. 915/2023, které řeší pouze listovou zeleninu. Obsah nitrátů na všech třech stanicích stanovený v bramborách bez ohledu na variantu překročil původní limit dvoj až trojnásobně (tab. 14). Tyto nadměrné obsahy můžeme klást do souvislosti jak s vyšším obsahem minerálního dusíku již na počátku vegetace (kap. 7.4.1), tak i s velmi suchým průběhem vegetace. Obsah nitrátů závisí na hnojení, odrůdě, ale průkazně také na průběhu srážek

a teplot. Podobně vysoký obsah nitrátů v bramborách zjistila (Zarzecka et al., 2019) ve vegetačním období s nízkým úhrnem srážek a současně nadnormálně vysokými teplotami.

4.6 Velikostní třídění hlíz

Většina hlíz brambor (59 - 81 %) byla zaříděna do střední velikostní kategorie (tj. 40 - 70 mm). V kategorii největších hlíz nad 70 mm byly pouze minimálně zastoupeny varianty 2, 6 v Jaroměřicích. V celkovém hodnocení nejlépe působilo hnojení kejdou, u níž zastoupení střední velikosti hlíz činilo 79,2 %. Kategorie hlíz do 40 mm byla zastoupena v průměru ze 21 - 30 %. Nevyšší zastoupení 30 % v této kategorii náleží variantě hnojené kompostem. Výsledek velikostního zařídění hlíz je velmi silně ovlivněn kritickým nedostatkem srážek v rozhodujících fázích vegetace.

Tab. 15: Velikostní třídění hlíz brambor

Stanice	Varianta	Velikostní třídění %		
		do 40 mm	40 - 70 mm	nad 70 mm
Jaroměřice n. Rokytou	1.Nehnojeno	19,33	80,67	-
	2.LAV	17,66	80,79	1,55
	3.Kejda Lípa	11,24	88,76	-
	4.DG Lípa	24,21	75,79	-
	5.DG Opatov	19,48	80,52	-
	6.Kompost	12,88	85,92	1,2
Lípa	1.Nehnojeno	22,61	77,39	-
	2.LAV	28,70	71,30	-
	3.Kejda Lípa	28,81	71,19	-
	4.DG Lípa	29,52	70,48	-
	5.DG Opatov	28,20	71,80	-
	6.Kompost	37,31	62,69	-
Hradec n. Svitavou	1.Nehnojeno	30,48	69,52	-
	2.LAV	27,54	72,46	-
	3.Kejda Lípa	22,30	77,70	-
	4.DG Lípa	32,46	67,54	-
	5.DG Opatov	34,31	65,69	-
	6.Kompost	40,98	59,02	-
Průměrný obsah	1.Nehnojeno	24,14	75,86	-
	2.LAV	24,63	74,85	0,5
	3.Kejda Lípa	20,78	79,22	-
	4.DG Lípa	28,73	71,27	-
	5.DG Opatov	27,33	72,67	-
	6.Kompost	30,39	69,21	0,4

5 Efektivita využití dusíku z hnojiv

Výpočet efektivity využití dusíku, který je v pokusu hlavní živinou dodávanou hnojivou, můžeme použít pro hodnocení reakce plodiny na použitá hnojiva a také omezenější vstupy dalších živin. Použit je výpočet utilizace dusíku a efektivita využití dusíku.

5.1 Utilizace dusíku

Pro agronomickou interpretaci vlivu aplikovaného dusíku jednotlivými typy hnojiv byl použit výpočet utilizace dusíku (Utilization of Nitrogen U-N), který představuje podíl dusíku odebraného hlavním sklizňovým produktem a dávku dusíku aplikovanou k plodině (Moll et al., 1982). Výpočet $U-N (\%) = \text{množství N odebrané výnosem (kg/ha)} / \text{aplikované množství N (kg/ha)}$.

U varianty hnojené LAV se UN-N v Hradci blíží 100 %, což znamená, že brambory využívaly pravděpodobně i další zdroj dusíku, například ze srážek nebo mineralizací půdní organické hmoty než přímo z dodaného hnojiva. Je-li vypočítaná hodnota nižší než 100 %, což pozorujeme u téměř všech variant hnojených minerálně, tak organicky dochází k akumulaci N v půdě a výsledná bilance je kladná. Bohužel v tomto případě dochází ke ztrátám dusíku z půdy. To potvrzují i poměrně značné obsahy N_{min} zjištěné před zámrazem, které nemohou být rostlinami v tomto období využity a dochází k jejich promytí do spodních půdních profilů (kap. 7.4.2).

Tab. 16: Výpočet průměrné utilizace dusíku z aplikovaných hnojiv (n = 4)

Stanice	UN-N (%)				
	2.LAV	3.Kejda Lípa	4.DG Lípa	5.DG Opatov	6.Kompost
Hradec n. Svit.	96	82	85	77	28
Jaroměřice n. R	77	76	76	79	38
Lípa	80	60	70	67	28
Průměr UN-N	84	73	77	74	31

5.2 Efektivita využití dusíku

Vliv aplikovaného dusíku lze přesněji hodnotit po srovnání dusíku obsažených v hnojivech a odběrem dusíku sklizní. Tato efektivita znovuvyužití neboli Recovery Efficiency (RE-N) je vypočítána jako rozdíl odběru N na hnojených variantách v porovnání s odběrem N na nehnojené kontrole ve vztahu k dodanému množství N hnojivy (Dobermann 2007).

Výpočet $RE-N (\%) = (\text{odběr N na hnojené variantě} - \text{odběr na kontrole}) / \text{dávka N}$
Průměrná efektivita ukazuje na nejvýraznější využití dusíku dodaného prostřednictvím LAVu v průměru 24,6 %, kejda s digestáty v této účinnosti dosahují mezi 13 až 17 % a kompost pouze 1,2 %. Tento výpočet zahrnuje dvojnásobnou dávku N dodanou kompostem, tj. 240 kg N/ha.

Tab. 17: Výpočet průměrné efektivity využití dusíku z aplikovaných hnojiv (n = 4)

Stanice	RE-N (%)				
	2.LAV	3.Kejda Lípa	4.DG Lípa	5.DG Opatov	6.Kompost
Hradec n. Svit.	34,3	20,0	23,6	15,3	-3,2
Jaroměřice n. R	11,0	10,0	9,6	13,0	4,9
Lípa	28,5	8,7	18,7	15,3	1,9
Průměr RE-N	24,6	12,9	17,3	14,5	1,2

6 Balance dusíku

Pro komplexní zhodnocení časově aktuálního působení dusíku dodaného ověřovanými hnojivy byla vypočítána bilance živin. Na straně *vstupů* jsou zohledněny živiny dodané hnojením a dešťovými srážkami. Na straně *výstupů* jsou živiny odebrané vyprodukovanou sklizní, tj. hlízami brambor (tab. 12). Dešťové srážky reprezentují atmosférickou depozici dusíku, která je součástí hodnocení pokusu za období od září 2022 do srpna 2023 na konkrétní zkušební stanici. Depozice dusíku za sledované období se v souhrnu pohybovala od 3,5 do 19,1 kg N/ha. Tento značný rozdíl je způsoben velmi nízkým úhrnem srážek v Jaroměřicích za celé dvanácti měsíční sledování, který se promítl i do nízkého výnosu.

U kontroly byla zjištěna vzhledem k trvalému vynechání jakéhokoliv hnojení záporná bilance N v průměru tří stanic -62 kg N/ha, což je po několik let víceméně konstantní hodnota. Varianty organicky hnojené vykazovaly podobný přebytek mezi 37 - 43 kg N/ha. Aplikace LAV vzhledem k výši výnosů a odběru N vykazaly kladnou bilanci 29 kg N/ha. Kompost díky dvojnásobné dávce dusíku vykazuje přebytek 175 kg N/ha.

Tab. 18: Zhodnocení bilance dusíku za období od září 2022 do září 2023

Varianty hnojení	měřitelné vstupy dusíku (kg N/ha)				
	hnojiva	dešťové srážky			průměr VSTUPY
		Hradec n. Svit.	Jaroměřice n. R.	Lípa	
1.Nehnojeno	-	19,1	3,5	7,4	10
2.LAV	120	19,1	3,5	7,4	130
3.Kejda Lípa	120	19,1	3,5	7,4	130
4.DG Lípa	120	19,1	3,5	7,4	130
5.DG Opatov	120	19,1	3,5	7,4	130
6.Kompost	240	19,1	3,5	7,4	250

Varianty hnojení	měřitelné výstupy dusíku (kg N/ha)				průměr VÝSTUPY
	odběr N hlízami brambor				
	Hradec n. Svit.	Jaroměřice n. R.	Lípa		
1.Nehnojeno	74	79	62	72	
2.LAV	115	93	96	101	
3.Kejda Lípa	98	91	72	87	
4.DG Lípa	102	91	84	93	
5.DG Opatov	92	95	80	89	
6.Kompost	66	91	67	75	

Varianty hnojení	bilance dusíku stanoviště (kg N/ha)			průměrná bilance N (kg N/ha)
	Hradec n. Svit.	Jaroměřice n. R.	Lípa	
1.Nehnojeno	-55	-76	-55	-62
2.LAV	24	31	31	29
3.Kejda Lípa	41	32	55	43
4.DG Lípa	37	33	43	37
5.DG Opatov	47	29	47	41
6.Kompost	193	152	181	175

7 Agrochemické rozborů půdních vzorků

V průměrných vzorcích půdy odebraných z každé varianty hnojení po sklizni brambor bylo stanoveno pH/CaCl₂ a přístupné živiny P, K, Ca a Mg ve výluhu Mehlich 3. Analýzy byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Brno.

7.1 Popis chemických metod

Stanovení výměnné půdní reakce: aktivita iontů vodíku byla měřena pH metrem v extrakčním roztoku 0,01 mol.l⁻¹ CaCl₂ skleněnou iontově selektivní elektrodou podle JPP 30040.1.

Stanovení přístupných živin: přístupné živiny, síra a mikroelementy byly extrahovány ve vzorcích zeminy v roztoku Mehlich 3. Ke stanovení byla použita metoda ICP-OES-atomové emisní spektrometrie v indukčně vázaném plazmatu (JPP 30074.1).

Stanovení minerálního dusíku v půdě: stanovení nitrátového dusíku bylo prováděno iontově selektivní elektrodou po vyluhování půdy síranem draselným. Stanovení amonného dusíku bylo prováděno spektrofotometricky indofenolovou metodou po vyluhování síranem draselným (JPP 309930.1, 30932.1, 30936.1).

Stanovení půdní organické hmoty: probíhá metodou NIR spektroskopie v blízké infračervené spektrální oblasti (1 100-2 500 nm) s reflektanční detekcí (JPP 30980.1). Vyhodnocení parametrů se provádí matematickými statistickými postupy z kalibračního modelu (EN ISO 17184).

7.2 Půdní reakce, obsah přístupných živin a mikroelementů

Neutrální výměnná půdní reakce mezi 6,9 až 7,0 se po dvou osevních sledech nezměnila v Hradci n. Svitavou u žádné z variant. V Jaroměřích pozorujeme v rámci slabě kyselé půdní reakce postupné okyselení u kontroly a varianty s LAV pH 6,0. Na písčitohlinité půdě na Lípě pH kolísalo v rozpětí od 5,5 do 6,5. Zejména kejda, digestáty a kompost pH mírně zvyšuje, v rámci všech variant je hodnocena jako slabě kyselé. K okyselení nejvíce přispívá opakovaná aplikace LAV.

Z výsledků analýz přístupných živin je patrný mírný nárůst obsahu fosforu, draslíku, vápníku i hořčíku po aplikaci kejdy a digestátů.

Obsah mědi, manganu, železa a zinku je v kategorii středního obsahu, přičemž vliv hnojení nelze jednoznačně rozlišit. Obsah síry je během vegetace velmi dynamický, přesto i její orientační stanovení metodou Mehlich 3 ukazuje na zhoršující se situaci v pokusných podmínkách a její kritický nedostatek, který se promítá do kvalitativních vlastností produkce a může limitovat i výnos.

Tab. 19: Hradec n. Svitavou, průměrný obsah přístupných živin a ME (n = 4), střední půda

Varianty hnojení	pH/CaCl ₂	Obsah přístupných živin a mikroelementů (mg/kg)									
		P	K	Ca	Mg	Cu	B	Fe	Mn	S	Zn
Před založením	7,0	74	128	2489	56	2,3	0,8	261	147	9,0	3,3
1.Nehnojeno	6,9	73	122	2386	56	2,3	0,8	255	145	8,2	3,2
2.LAV	7,0	76	156	2279	68	2,1	0,8	243	137	9,7	3,6
3.Kejda Lípa	7,0	76	191	2314	67	2,0	0,8	257	135	9,5	3,2
4.DG Lípa	7,1	77	213	2271	63	1,7	0,8	245	128	9,6	3,0
5.DG Opatov	7,1	103	292	2696	91	1,8	1,0	277	127	12,1	4,5
6.Kompost	7,0	74	128	2489	56	2,3	0,8	261	147	9,0	3,3

Tab. 20: Jaroměřice n. Rokyt., prům. obsah přístupných živin a ME (n = 4), střední půda

Varianty hnojení	pH/CaCl ₂	Obsah přístupných živin a mikroelementů (mg/kg)									
		P	K	Ca	Mg	Cu	B	Fe	Mn	S	Zn
Před založením	6,1	60	153	2816	228	2,8	0,6	262	170	9,0	2,4
1.Nehnojeno	6,0	52	155	2806	233	2,6	0,6	234	157	9,3	2,1
2.LAV	6,3	70	186	2991	301	2,9	0,6	259	161	11,0	2,7
3.Kejda Lípa	6,3	74	192	3104	312	2,7	0,6	253	152	10,8	2,7
4.DG Lípa	6,3	78	239	3139	311	2,7	0,7	270	152	10,7	2,7
5.DG Opatov	6,7	79	332	3616	346	2,5	1,0	280	142	14,2	5,3
6.Kompost	6,1	60	153	2816	228	2,8	0,6	262	170	9,0	2,4

Tab. 21: Lípa, průměrný obsah přístupných živin a ME (n = 4), střední půda

Varianty hnojení	pH/CaCl ₂	Obsah přístupných živin a mikroelementů (mg/kg)									
		P	K	Ca	Mg	Cu	B	Fe	Mn	S	Zn
Před založením	5,7	46	114	1705	116	1,9	0,5	372	126	12,8	1,9
1.Nehnojeno	5,5	45	109	1665	114	1,8	0,5	359	117	21,6	1,8
2.LAV	6,0	45	130	1890	142	2,0	0,5	349	126	9,8	2,2
3.Kejda Lípa	6,1	46	155	1820	127	2,0	0,5	333	126	9,4	2,1
4.DG Lípa	6,1	54	200	1985	119	2,0	0,6	334	129	11,7	3,5
5.DG Opatov	6,5	87	274	2392	148	2,0	0,7	371	131	13,6	5,4
6.Kompost	5,7	46	114	1705	116	1,9	0,5	372	126	12,8	1,9

Tab. 22: Kritéria hodnocení obsahu P, K a Mg (mg/kg) na orné půdě (metoda Mehlich 3)

Kategorie obsah	FOSFOR	DRASLÍK			HOŘČÍK		
		lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
nízký	do 50	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120
vyhovující	51 - 80	101 - 160	106 - 170	171 - 260	81 - 135	106 - 160	121 - 220
dobrý	81 - 115	161 - 275	171 - 310	261 - 350	136 - 200	161 - 265	221 - 330
vysoký	116 - 185	276 - 380	311 - 420	351 - 510	201 - 285	266 - 330	331 - 460
velmi vysoký	nad 185	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460

Tab. 23: Hodnocení výměnné půdní reakce

hodnota pH	půdní reakce
do 4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 - 5,5	kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6 - 7,2	neutrální
7,3 - 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

Tab.24: Pracovní kritéria hodnocení obsahu mikroelementů (metoda Mehlich 3)

Mikroelement	Půdní druh	Hodnocení obsahu (mg/kg)		
		nízký	střední	vysoký
Bor (B)	L	do 0,55	0,56–0,75	nad 0,75
	S	do 0,70	0,71–1,00	nad 1,00
	T	do 0,85	0,86–1,40	nad 1,40
Měď (Cu)	L, S, T	do 1,6	1,61–4,5	nad 4,5
Zinek (Zn)	L, S, T	do 2,2 ¹⁾	2,21–5,0	nad 5,0
Mangan (Mn)	L, S, T	do 30,0 (< 45,0) ²⁾	30,1–200	nad 200
Železo (Fe)	L, S, T	do 60,0	60,0–420	nad 420

Tab. 25: Pracovní kritéria hodnocení obsahu síry (metoda Mehlich 3)

obsah (mg/kg)	Hodnocení
do 10	velmi kritický
11 - 20	nízký
21 - 30	vyhovující
31 - 40	dobrý
41 - 50	vysoký

7.3 Hodnocení půdní organické hmoty

Předkládané výsledky parametrů organické hmoty reprezentují vzorkování půdy čtyř opakování pokusných variant (tab. 26 - 28). Výsledky se vztahují k odběru půdy po sklizni brambor v září 2023, prezentují tedy stav na počátku 3. osevního sledu. Ani po opakované aplikaci statkových hnojiv nebyly prokázány významnější rozdíly mezi variantami, zejména přihlédneme-li k velmi nízkému rozsahu zjištěných hodnot.

Kompost je jediným materiálem, u něhož byl zaznamenán významnější pozitivní vliv na sledované parametry. V Jaroměřicích po kompostu 1,06 Cox %, oproti kontrole 0,94 %. Dalším pozitivem je zvýšení glomalinu na všech třech stanovištích, který plní funkci agregace půdních částic a dále nesmírně důležitou schopnost retence vody. I pravidelná aplikace digestátů a kejdry přispívá k mírnému zvýšení obsahu Cox, glomalinu a CTOC, porovnáváme-li výsledky s minerálně hnojenou variantou či kontrolou. Obsah NTOT u všech variant hodnotíme jako dobrý (Bielek, 1998).

Vypočítaný poměr C:N ukazuje na vyšší variabilitu mezi ovlivněnou půdními podmínkami na pokusných lokalitách a jen velmi mírně ovlivněnou variantami. Čím je užší poměr (nižší hodnota) C:N, tím jsou půdy biologicky aktivnější. Na základě předkládaných výsledků poměr C:N v půdě hodnotíme v Hradci a na Lípě podle Sotáková (1982) jako „střední poměr“ (je-li C:N 8 - 10) nebo jako „vysoký“ v Jaroměřicích (je-li C:N 5 - 8).

Tab. 26: Průměrné hodnoty parametrů organické hmoty, Hradec n. Svitavou

Varianty hnojení	Parametry kvality organické hmoty (n = 4)					
	N _{TOT} %	Cox %	Glomalin mg/g	Q4/6	CTOC %	C:N
1.Nehojeno	0,18	1,58	2,92	4,32	1,67	8,8
2.LAV	0,18	1,61	2,98	4,33	1,71	8,9
3.Kejda Líba	0,18	1,61	3,14	4,35	1,71	8,9
4.DG Líba	0,18	1,59	3,25	4,41	1,69	8,9
5.DG Opatov	0,18	1,58	3,22	4,48	1,68	8,9
6.Kompost	0,18	1,57	3,45	4,51	1,67	8,8

Tab. 27: Průměrné hodnoty parametrů organické hmoty, **Jaroměřice n. Rokytnou**

Varianty hnojení	Parametry kvality organické hmoty (n = 4)					
	N _{TOT} %	Cox %	Glomalin mg/g	Q4/6	CTOC %	C:N
1.Nehnojeno	0,17	0,94	2,53	4,66	1,10	5,6
2.LAV	0,17	0,93	2,69	4,66	1,09	5,7
3.Kejda Lípa	0,17	0,92	2,58	4,69	1,10	5,4
4.DG Lípa	0,18	0,94	2,36	4,75	1,14	5,3
5.DG Opatov	0,18	0,94	2,43	4,69	1,11	5,3
6.Kompost	0,20	1,06	3,21	4,80	1,26	5,4

Tab. 28: Průměrné hodnoty parametrů organické hmoty, **Lípa**

Varianty hnojení	Parametry kvality organické hmoty (n = 4)					
	N _{TOT} %	Cox %	Glomalin mg/g	Q4/6	CTOC %	C:N
1.Nehnojeno	0,20	1,72	2,55	5,60	1,83	8,3
2.LAV	0,21	1,86	2,56	5,66	1,97	8,6
3.Kejda Lípa	0,18	1,40	2,55	5,31	1,53	7,9
4.DG Lípa	0,18	1,41	2,62	5,30	1,52	8,0
5.DG Opatov	0,18	1,46	2,74	5,28	1,57	8,2
6.Kompost	0,19	1,49	3,32	5,31	1,61	8,0

Popis hodnocených parametrů

- **Celkový dusík (NTOT)** je souborem přístupných i nepřístupných forem dusíku, které mezi sebou mohou přecházet.

Hodnocení dusíku % (Bielek, 1998)	Velmi nízký	< 0,12
	Nízký	0,12-0,16
	Dobrý	0,16-0,24
	Vysoký	0,24-0,35
	Velmi vysoký	>35

- **Oxidovatelný organicky vázaný uhlík (Cox)** zastupuje primární a sekundární organickou hmotu v půdě.
- **Glomalin** je glykoprotein vylučovaný do půdy myceliem mykorhizních hub arbuskulárního typu. Je to velmi stabilní sloučenina, nerozpustná ve vodě a odolná k tepelné degradaci.
- **Barevný kvocient Q4/6** vyjadřuje poměr absorbance humusových látek, humusových kyselin a fulvokyselin, které vykazují vysokou intenzitu světelné absorbance UV-VIS spektra při 465 nm a 665 nm.
- **Celkový uhlík (CTOC)** vyjadřuje množství uhlíku uloženého v organických sloučeninách.
- **Poměr C:N** indikuje trend humifikace, vyjadřuje poměr dusíku ku obsahu oxidovatelného (organickému) uhlíku, je indikátorem kvality organické složky půdy, užší poměr < 10 je spojen s kvalitnějšími, humóznějšími půdami.

Hodnocení poměru C:N (Sotáková, 1982)	Velmi nízký	>14
	Nízký	11-14
	Dobrý	8-11
	Vysoký	5-8
	Velmi vysoký	< 4

7.4 Hodnocení změn obsahu minerálního dusíku

Přeměna dusíkatých látek v půdě do forem pro rostliny přijatelných je závislá na půdních a povětrnostních podmínkách. Intenzita nitrifikace je rozdílná i v průběhu roku. V zimním období je obsah NO_3^- a NH_4^+ v půdách nízký, na jaře (duben – květen) dochází k výraznému nárůstu obsahu NO_3^- a NO_2^- . Jsou-li nepříznivé podmínky k nitrifikaci, akumuluje se NO_2^- . Po jarním maximu klesá obsah minerálního dusíku ($N_{\min}$) na letní minimum, kdy je jeho hladina v půdě relativně stabilní (6 - 8 měsíc). Na podzim dosahuje obsah $N_{\min}$ druhého maxima.

Průběh nitrifikace může také souviset s půdní úrodností, vysoká nitrifikace obvykle vede ke značným ztrátám N vyplavením nebo případně denitrifikací.

Půdní nitrátový dusík je produktem mikrobiální mineralizace dusíkatých sloučenin, je fyziologicky aktivní a rostlinnými kořeny je přijímán pomocí výměnných reakcí. Náboj nitrátových aniontů se shoduje s převažujícím elektrickým nábojem půdního sorpčního komplexu, proto je NO_3^- z půdy rychle vyplavován a způsobuje eutrofizaci vod.

V kapitolách 7.4.1 - 7.4.2 jsou zhodnoceny dva termíny odběru $N_{\min}$ v ornici v horizontu 0 - 30 cm. První termín vzorkování byl brzy na jaře před hnojením, aby se ověřilo, jak velká zásoba dusíku zůstala v půdě na začátku vegetace. Druhý termín odběru byl proveden před zámrzem půdy v prosinci 2023.

Pracovní kritéria pro hodnocení dusičnanové formy dusíku vycházejí z rozsáhlé studie (Trávník, 1995) a zohledňují nadmořskou výšku hodnocené lokality (tab. 29).

Tab. 29: Hodnocení obsahu dusičnanového dusíku v půdě (mg/kg) podle nadmořské výšky

Obsah N-NO_3^-	do 450 m n. m.	nad 450 m n. m.
velmi bezpečný	do 5,0	do 4,0
bezpečný	5,1 - 10,0	4,1 - 8,0
přiměřený	10,1 - 15,0	8,1 - 12,0
nadměrný	15,1 - 20,0	12,1 - 16,0
rizikový	nad 20,0	nad 16

7.4.1 Obsah $N_{\min}$ v půdě brzy na jaře

Průměrný obsah minerálního dusíku $N_{\min}$ (tab. 30) vykazoval ve vzorcích půdy brzy na jaře před jarním hnojením v orniční vrstvě 0 - 30 cm vyšší obsah oproti předchozím rokům. U kontroly bylo zjištěno v průměru 8 mg/kg, u varianty LAV do 12,3 mg/kg. Pohotový obsah dusíku v ornici dosahoval 55 kg N/ha u varianty s kompostem. Rozdíly v zásobě dusíku po zimě (2022/23) byly u variant hnojených digestáty, kejdou i kompostem poměrně vyrovnané (43 - 55 kg N/ha).

Obsah nitrátového dusíku (tab. 31) se hodnotí podle nadmořské výšky konkrétní stanice. V Jaroměřicích a na Lípě obsah N-NO_3^- hodnotíme jako velmi bezpečný, popřípadě velmi bezpečný tedy bez environmentálního rizika. V Hradci u všech variant obsah nitrátového dusíku posuzujeme jako přiměřený, stejně jako na Lípě po aplikaci kompostu. Amonná forma dusíku N-NH_4^+ nevykazuje jednoznačný trend jak z pohledu způsobu hnojení, tak lokalit. Nižší obsah je však patrný u kontroly, nejvyšší po hnojení LAV.

Tab. 30: Obsah N_{min} - brzy na jaře před hnojením (n = 4)

Varianty hnojení	Obsah N _{min} v půdě							
	Hradec n. Svit.		Jaroměřice		Lípa		Průměr	
	mg/kg	kg N/ha	mg/kg	kg N/ha	mg/kg	kg N/ha	mg/kg	kg N/ha
1.Nehnojeno	12,4	55,6	6,1	27,5	5,5	24,7	8,0	35,9
2.LAV	15,3	69,0	8,0	36,2	5,7	25,8	9,7	43,7
3.Kejda Lípa	13,6	61,3	7,2	32,4	10,6	47,8	10,5	47,2
4.DG Lípa	12,3	55,3	7,8	35,2	8,6	38,8	9,6	43,1
5.DG Opatov	15,6	70,1	9,2	41,6	9,9	44,6	11,6	52,1
6.Kompost	13,9	62,4	7,3	32,9	15,6	70,1	12,3	55,1

Tab. 31: Obsah N-NO₃⁻ a N-NH₄⁺ - brzy na jaře před regeneračním hnojením (n = 4)

Varianty hnojení	N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)			
	Hradec n. Svit. 460 m n. m.	Jaroměřice 425 m n. m.	Lípa 505 m n. m.	Průměr
1.Nehnojeno	9,3	5,0	2,7	5,7
2.LAV	10,9	6,7	2,4	6,7
3.Kejda Lípa	11,2	5,9	7,0	8,0
4.DG Lípa	10,1	6,2	5,8	7,4
5.DG Opatov	11,2	7,8	6,5	8,5
6.Kompost	10,2	6,2	11,9	9,4
Hodnocení obsahu N-NO ₃ podle nadmořské výšky	velmi bezpečný bezpečný přiměřený nadměrný rizikový			
	N-NH ₄ ⁺ mg/kg			
1.Nehnojeno	3,0	1,1	2,8	2,3
2.LAV	4,4	1,3	3,3	3,0
3.Kejda Lípa	2,5	1,3	3,6	2,5
4.DG Lípa	2,2	1,6	2,9	2,2
5.DG Opatov	4,4	1,4	3,5	3,1
6.Kompost	3,7	1,1	3,6	2,8

7.4.2 Obsah N_{min} v půdě před zámrazem

Průměrný obsah minerálního dusíku před zámrazem půdy na podzim byl u varianty minerálně hnojené nejvyšší v Hradci (165 kg N/ha) a v Jaroměřicích (170 kg N/ha). Po digestátech dosahoval hodnot od 72,7 do 122 kg N/ha. Po kompostu v Jaroměřicích bylo dokonce zjištěno 149 kg N/ha. Tento dusík nebyl plodinami patrně využit, hromadil se v povrchové vrstvě ornice a během zimního období dojde pravděpodobně jeho ztrátám průsakem do spodních profilů půdy. Na písčitohlinité kambizemi na Lípě pozorujeme zcela opačný jev, před zámrazem se obsah N_{min} nacházel v rozmezí 3,6 (po kejdě) do 7,2 (po kompostu) mg/kg. Sklízni zde bylo odčerpáno a mineralizováno podstatné množství dusíku a rezidua byla nižší než na jaře před hnojením.

Tab. 32: Obsah N_{min} - před zámrzem půdy (n = 4)

Varianty hnojení	Obsah N _{min} v půdě							
	Hradec n. Svít.		Jaroměřice		Lípa		Průměr	
	mg/kg	kg N/ha	mg/kg	kg N/ha	mg/kg	kg N/ha	mg/kg	kg N/ha
1.Nehnojeno	17,5	78,6	15,1	67,9	4,9	22,1	12,5	56,2
2.LAV	36,6	164,9	37,9	170,4	4,4	19,6	26,3	118,3
3.Kejda Lípa	21,9	98,7	14,1	63,4	3,6	16,3	13,2	59,5
4.DG Lípa	27,1	122,0	16,2	72,7	4,9	21,9	16,1	72,2
5.DG Opatov	23,8	107,2	21,5	96,6	5,2	23,3	16,8	75,7
6.Kompost	33,1	149,0	22,8	102,6	7,9	35,5	21,3	95,7

Tab. 33: Obsah N-NO₃⁻ a N-NH₄⁺ - před zámrzem půdy (n = 4)

Varianty hnojení	N-NO ₃ ⁻ (mg/kg)			
	Hradec n. Svít. 460 m n. m.	Jaroměřice n. R. 425 m n. m	Lípa 505 m n. m	Průměr
1.Nehnojeno	17,5	14,2	3,1	11,6
2.LAV	36,6	36,9	2,5	25,3
3.Kejda Lípa	21,9	12,9	2,2	12,3
4.DG Lípa	27,1	15,0	3,0	15,0
5.DG Opatov	23,8	19,6	2,8	15,4
6.Kompost	33,1	21,1	4,5	19,6
Hodnocení obsahu N-NO ₃ ⁻ podle nadmořské výšky				
velmi bezpečný bezpečný přiměřený nadměrný rizikový				
	N-NH ₄ ⁺ (mg/kg)			
1.Nehnojeno	0,9	0,8	1,8	1,2
2.LAV	0,9	1,0	1,8	1,2
3.Kejda Lípa	1,6	1,2	1,4	1,4
4.DG Lípa	1,1	1,1	1,8	1,3
5.DG Opatov	1,0	1,9	2,3	1,7
6.Kompost	1,6	1,7	3,4	2,2

V termínu odběru před zimním obdobím u všech variant (tab. 31) N-NO₃⁻ v Hradci hodnotíme jako rizikový, v Jaroměřicích jako přiměřený a u variant 2, 5 a 6 jako nadměrný. Na Lípě díky nižšímu obsahu N_{min} nevznikly problémy s nitrátovou formou dusíku, kterou hodnotíme jako velmi bezpečnou a po kompostu jako bezpečnou.

8 Mikrobiologické metody a extrakce uhlíku

Půdní vzorky pro účely mikrobiologického šetření byly odebrány v Jaroměřicích n. Rokytnou dne 19.4. 2022, tj. 26 dní od aplikace hnojiv, ze všech opakování z hloubky 0 - 15 cm. Cílem bylo zjistit, jak opakovaná aplikace testovaných hnojiv ovlivňuje vybrané mikrobiální a chemické parametry půd (tab. 32).

U všech hodnocených parametrů, kde byl detekován signifikantní rozdíl mezi variantami hnojení (kromě $t_{peakmax}$), byly nejnižší hodnoty nalezeny u kontroly. Nebyly nalezeny signifikantní rozdíly mezi kontrolou a případně variantou LAV a organickými hnojivy. Minerální hnojení nemá oproti kontrole na stanovené parametry téměř žádný vliv. Půdy hnojené digestáty se mezi sebou v žádném hodnoceném parametru nelišily, což ukazuje, že tyto organické materiály, i když rozdílného původu a složení ovlivňují půdní mikroorganismy a parametry s nimi spojené podobným způsobem. U žádného stanoveného parametru se varianta s aplikací kejdy signifikantně nelišila od variant 2, 3, 4 a 5 (kromě WSC, kdy se varianta s kejdou lišila od varianty LAV).

Bazální respirace (R_B), která popisuje celkovou mikrobiální aktivitu a dostupnost labilní frakce organické hmoty, se mezi variantami nelišila, to znamená, že mikroorganismy nebyly schopny nabídnuté organické materiály 25 dní po jejich aplikaci využít pro svůj energetický metabolismus. *Substrátem indukovaná respirace* (R_S), která je považována za ekvivalent či měřítko mikrobiální biomasy a charakterizuje frakci mikrobiálního společenstva adaptovanou na vstup rychle rozložitelného substrátu, se také mezi variantami nelišila. Stanovení *mikrobiální biomasy* (C_{bio}) fumigačně-extrakční metodou ukázalo, že po hnojení kompostem je půda oživena statisticky průkazně větší biomasou mikroorganismů než u kontroly a LAV. Avšak C_{bio} detekuje jak aktivní, tak neaktivní mikroorganismy, zatímco R_S je fyziologickým odhadem aktivních mikrobů, kteří dokážou reagovat na dodaný substrát. Z tohoto úhlu pohledu je patrné, že půdy s každoroční aplikací kompostu obsahují mikrobiální společenstva rozdílného fyziologického složení s různým poměrem R_S/C_{bio} . Rozdílnému fyziologickému stavu mikrobiálních společenstev odpovídá i změněný mikrobiální růst, který se detekoval jako zkrácení doby do dosažení maximální růstové rychlosti ($t_{peakmax}$) při měření růstových křivek u kompostu. Tento nálezní indikuje adaptaci mikroorganismů na vstup snadno využitelného organického substrátu. U této varianty byly jako u jediné zaznamenány signifikantně vyšší hodnoty specifické růstové rychlosti (μ). Tyto parametry ($t_{peakmax}$ a μ) ukazují, že hnojení kompostem vedlo k posunu mikrobiálního společenstva k tzv. *r*-strategii, tj. k mikroorganismům s kratší generační dobou a využívající spíše snadno rozložitelné organické látky. Možným vysvětlením je vyšší dávka kompostu oproti ostatním materiálům.

Vodou extrahovatelný C (WSC) a *C extrahovatelný K_2SO_4* (C_{ext}) jsou parametry představující labilní, mikroorganismy snadno využitelnou frakci C půdní organické hmoty. Hnojení kompostem přispívá v porovnání s ostatními variantami hnojení k nejvyšším hodnotám WSC a C_{ext} . To naznačuje, že použitý kompost dokáže zvyšovat frakci organické hmoty (tvořenou např. aminokyselinami, jednoduchými cukry), která pak může být přístupná jako snadno využitelný zdroj C a energie pro půdní mikroorganismy. Navíc se ukázalo, že WSC je statisticky průkazně vyšší ve všech variantách s organickým hnojením oproti minerálnímu LAV. WSC jako nejlabilnější forma organického C tak z testovaných parametrů dokáže nejlépe indikovat různou povahu aplikovaných hnojiv s přesahem do mikrobiálních přeměn C. Analogickým parametrem k WSC je vodou extrahovatelný N (WSN). WSN byl oproti kontrole průkazně vyšší po hnojení kompostem. Překvapivě nejvyšší hodnotu jsme zaznamenali po LAVu, která se také signifikantně liší od kontroly. Vysoký obsah WSN po LAV je oproti ostatním parametrům silně ovlivněn hnojením N ve snadno dostupné minerální formě.

Oproti WSC a WSN jsou HWSC a HWSN již vysokomolekulárními formami labilní frakce C, respektive N. Ty jsou pro půdní mikroorganismy dostupné trochu hůře a jejich obsah v půdě podléhá pomalejším změnám. Tyto parametry byly po kompostu nejvyšší a statisticky průkazně se lišily od variant kontroly a obou digestátů.

Zpracoval. RNDr. Jiří Čuhel, Ph.D., oddělení mikrobiologie a biochemie NRL ÚKZÚZ

Tab. 34: Výsledky mikrobiologických analýz půdy, Jaroměřice n. Rokytnou (n = 4)

Parametr	výpočet	Kontrola	LAV	Kejda Lípa	DG Lípa	DG Opatov	Kompost
R _B (μg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	průměr	1,04 ·*	1,02 ·	1,57 ·	1,43 ·	0,89 ·	1,76 ·
R _S (μg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)		15,9 ·*	14,9 ·	19,5 ·	16,2 ·	15,5 ·	24,0 ·
C _{bio} (μg C g ⁻¹)		246 a	260 a	324 ab	287 ab	284 ab	409 b
C _{ext} (μg C g ⁻¹)		39,1 a*	40,4 ab	48,0 ab	47,2 ab	48,9 b	99,6 c
WSC (μg C g ⁻¹)		127 ab	106 a	141 b	142 b	160 b	194 c
WSN (μg N g ⁻¹)		16,8 a*	27,1 b	21,6 ab	21,6 ab	23,4 ab	26,4 b
HWSC (μg C g ⁻¹)		437 a	477 ab	496 ab	464 a	455 a	612 b
HWSN (μg N g ⁻¹)		44,5 a	52,0 ab	51,2 ab	48,8 a	48,7 a	69,7 b
μ (h ⁻¹)		0,122 a	0,122 a	0,123 a	0,119 a	0,123 a	0,162 b
t _{peakmax} (h)		31,3 ab	30,1 ab	28,7 ab	31,4 ab	31,9 b	25,4 a
R _B (μg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	s.d. směrodatná odchylka	0,109	0,375	0,716	1,251	0,270	0,667
R _S (μg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)		5,41	0,95	6,21	6,26	2,59	8,53
C _{bio} (μg C g ⁻¹)		16,0	11,5	77,2	72,8	51,4	80,4
C _{ext} (μg C g ⁻¹)		0,99	4,67	6,54	7,93	5,06	21,00
WSC (μg C g ⁻¹)		7,7	5,3	20,6	14,7	26,3	6,3
WSN (μg N g ⁻¹)		2,1	6,3	0,3	1,4	4,4	1,4
HWSC (μg C g ⁻¹)		27,9	39,4	61,8	42,4	67,3	87,3
HWSN (μg N g ⁻¹)		4,7	7,3	9,8	5,7	7,7	9,4
μ (h ⁻¹)		0,009	0,010	0,009	0,015	0,023	0,014
t _{peakmax} (h)		2,16	1,96	2,00	3,10	3,81	1,67

* U označených parametrů byla před Tukey testem provedena logaritmická transformace dat kvůli požadavkům na normalitu/homogenitu variancí.

Odlišná písmena u Tukey testu indikují statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami hnojení (p<0,05).

Tab. 35: Popis mikrobiologických parametrů

Parametr	Zkratka	Význam
C mikrobiální biomasy	C _{bio}	Schopnost mikroorganismů využít organické sloučeniny pro syntézu biomasy, pro stanovení C byla použita fumigačně extrakční metoda, C byl stanoven na CN analyzátoru
Extrahovatelný C (0,5 M K ₂ SO ₄)	C _{ext}	Labilní, mikroorganismy snadno využitelná frakce C v SOM, výsledky jsou vedlejším produktem analýzy C _{bio}
Bazální respirace	R _B	Celková mikrobiální aktivita, stanovuje se pomocí měřicí hlavice OxiTop jako pokles tlaku při spotřebě O ₂
Substrátem indukovaná respirace, jako substrát glukosa s přidavkem N, P	R _S	Charakterizuje frakci mikrobiálního společenstva adaptovanou na vstup rychle rozložitelného substrátu, stanovuje se pomocí měřicí hlavice OxiTop jako pokles tlaku při spotřebě O ₂
Specifická růstová rychlost, jako substrát glukosa s přidavkem N, P	μ	Hodnota odráží frakci mikrobiální biomasy zdvojenou během růstu po přidavku substrátu (glukosa s přidavkem N, P) za jednotku času, stanovuje se pomocí respiračních růstových křivek
Doba do dosažení maximální růstové rychlosti po přidavku substrátu	t _{peakmax}	stanovuje se pomocí respiračních růstových křivek
Vodou extrahovatelný C	WSC	Labilní, mikroorganismy snadno využitelná frakce C v SOM, tvořená zejména nízkomolekulárními sloučeninami, C stanoven jako celkový organický C (TOC)
Vodou extrahovatelný N	WSN	Labilní, mikroorganismy snadno využitelná frakce N v SOM, tvořená zejména nízkomolekulárními sloučeninami, N stanoven jako celkový organický N (TON)
Horkou vodou extrahovatelný C	HWSC	Zahrnuje mikrobiální biomasu a labilní frakci SOM, tvořená zejména vysokomolekulárními sloučeninami, C stanoven jako celkový organický C (TOC)
Horkou vodou extrahovatelný N	HWSN	Zahrnuje mikrobiální biomasu a labilní frakci SOM, tvořená zejména vysokomolekulárními sloučeninami, N stanoven jako celkový organický N (TON)

9 Závěry

Výroční zpráva hodnotí výsledky dlouhodobé polní zkoušky založené na třech stanovištích ve zranitelné oblasti. Zkouška ověřuje účinnost hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem, dvou digestátů a kejdy proti kompostu s pomalu uvolnitelným dusíkem. Srovnání je vztahováno oproti minerálnímu hnojivu LAV a nehnojené kontrole. Rok 2023 negativně poznamenala kombinace vysokých teplot a nedostatku srážek ve druhé polovině vegetace, které jsou pro tvorbu výnosu brambor podstatné.

Sklizňové výsledky brambor

- projevila se rozdílnost stanovišť, výše výnosů klesá v pořadí Hradec > Jaroměřice > Lípa
- nejvyšší průměrný výnos 31,8 t/ha byl dosažen po minerálním hnojení v Hradci, v průměru tří stanic 25,3 t/ha
- po hnojení digestáty a kejdou byl výnos od 18 do 22 t/ha, avšak v průměru o 13 až 28 % slaběji než LAV
- po hnojení kompostem byl výnos brambor 17,2 t/ha, pokles proti LAV činí 32 %

Statistické zhodnocení výnosů brambor

- vysoce průkazné rozdíly byly zjištěny mezi kontrolou a minerálním hnojením, digestáty a dále kejdou na všech stanovištích
- průkazný vliv kompostu na výnos se prokázal pouze v Jaroměřicích

Odběr živin

- průměrné odčerpání N bramborami po kejdě a digestátech bylo v rozpětí od 74 do 92 kg/ha
- varianta s kompostem odčerpala v průměru 75 kg N/ha
- nejvyšší odběr N byl zaznamenán po variantě LAV 101 kg/ha
- odběr fosforu se pohyboval od 8 (kompost) do 12 kg P/ha (LAV)
- hlízy brambor odčerpaly nejvíce draslíku po hnojení digestáty z Opatova 121 kg K/ha
- odběr hořčíku nepřekročil 7 kg Mg/ha a vápníku 4 kg Ca/ha

Obsah škrobu

- varianta LAV na všech lokalitách přispěla k nejvyššímu průměrnému obsahu škrobu 16,8 %, tj. 4,6 t škrobu /ha
- po kejdě a digestátech hlízy obsahovaly v průměru od 14,9 do 16 %, nejméně 15 % po kompostu

Obsah nitrátů

- všech variantách a všech stanovištích byl překročen jednou až 2x povolený limit,
- nejvyšší průměrný obsah byl zjištěn po hnojení digestáty 825 a 878 mg/kg N-NO₃⁻

Velikostní třídění hlíz

- hnojení kejdou přispělo k téměř 80 % podílu hlíz mezi 40 -70 mm
- hnojení digestáty přispělo k tvorbě 71-73 % hlíz v kategorii od 40 do 70 mm

Efektivita využití dusíku z hnojiv

- utilizace dusíku UN-N u varianty LAV dosáhla v průměru 84 %, po aplikaci kejdy a digestátů 74-77 %, a po kompostu pouze 31 %
- produktivita dusíku RE-N po hnojení LAV dosáhla 25 %, po organických hnojivech mezi 13-17 %, po kompostu pouze 1 %

Bilance dusíku

- průměrná záporná bilance činila -62 kg N/ha u kontroly, po LAV činil přebytek 29 kg N/ha
- přebytek u organických hnojiv činil od 37 do 41 kg N/ha
- vzhledem ke dvojnásobné dávce dodaného N byl přebytek u kompostu 175 kg N/ha

Výměnná půdní reakce

- digestáty vzhledem se své povaze na Lípě a Hradci po dobu trvání pokusu pH nezvýšily je zde trvale slabě kyselé pH, v Jaroměřicích je neutrální pH 7,1
- hnojení LAVem na Lípě pH okyseluje, pH bylo zjištěno 5,5

Obsah přístupných živin a mikroelementů v půdě

- kejda a digestáty zvyšují obsah P, K, Ca a Mg zejména v Jaroměřicích
- zásoba mikroelementů je většinou v kategorii středního obsahu, mezi variantami nejsou zřejmé rozdíly
- obsah síry vykazuje velmi kritický nízký, popřípadě nízký obsah

Organická půdní hmota

- kompost v Jaroměřicích zvýšil významně Cox na 1,02 % oproti kontrole 0,85 %
- zvýšení (desetiny %) obsahu glomalinu, CTOC, Cox na všech stanovištích pouze po kompostu
- poměr C:N 8,9 hodnotíme jako střední v Hradci a na Lípě C:N 7,9 - 8,6; v Jaroměřicích C:N 5,3 - 5,7 hodnotíme jako vysoký, na žádném stanovišti se neprojevíly rozdíly mezi variantami

Obsah minerálního dusíku před hnojením

- N min byl po organickém hnojení vyšší v Hradci a Jaroměřicích, v tomto roce vyšší na variantách organicky hnojených;
- po kejdě a digestátech zásoba dusíku v ornici činila od 43 do 52 a po kompostu 55 kg N/ha
- bez rozdílu hnojení byl v Jaroměřicích N-NO₃⁻ přiměřený, bezpečný a velmi bezpečný na Lípě a Hradci

Obsah minerálního dusíku před zámrzem

- N min byl po minerálním hnojení vyšší v Hradci a Jaroměřicích, rezidua činila v průměru 118 kg N/ha; Nmin v průměru 26,3 mg/kg v tomto roce vyšší na variantách organicky hnojených
- organická hnojiva představovala o málo menší riziko; Nmin byl zjištěn mezi 59 - 75 a po kompostu dokonce 96 kg N/ha
- bez rozdílu hnojení byl v Jaroměřicích N-NO₃⁻ rizikový; přiměřený na Lípě u variant 2 a 1 nadměrný
- rezidua N-NO₃⁻ v půdě na Lípě nepředstavovala riziko

Mikrobiologické zhodnocení

- stanovení mikrobiální biomasy ukázalo, že po kompostu je půda oživena průkazně více než v kontrole a LAV
- kompost nejlépe ovlivnil vodou extrahovaný C a WSC
- mezi digestáty nebyly průkazné rozdíly, ovlivňují půdní mikroorganismy a parametry podobným způsobem
- kompost všechny organické materiály průkazně zvýšily organický C jako WSC

Závěrečné shrnutí

Digestát a kejda jsou za předpokladu správně naplánované dávky a způsobu aplikace kvalitní organická hnojiva, která mohou zajistit přijatelné výnosy. Ročník 2023 se díky srážkovým deficitům promítl do celkově nižších výnosů. Nejúčinnějším zdrojem dusíku byl LAV, po kterém bylo dosaženo nejvyšších výnosů brambor, o něco nižší výnosy byly zaznamenány po aplikaci kejdy a digestátů a nejméně účinným byl kompost. U varianty hnojené LAV byl také zaznamenán nejvyšší obsah škrobu a nejvyšší hektarový výnos škrobu. Hnojení mělo poměrně malý vliv na obsah většiny živin v sušině brambor, organická hnojiva však výrazně zvyšovala obsah K v sušině. Odběr dusíku výnosem měl podobný trend jako výnos s nejvyššími hodnotami u varianty hnojené LAV. Bilance dusíku byla kladná, brambory

v důsledku sucha dosahovaly nižších výnosů a nevyužitý dusík se hromadil v půdě. S tím zřejmě souvisí i vysoký obsah nitrátů v hlízách, který značně převyšoval limitní hodnoty i v nehojené kontrole. Také v půdě bylo zaznamenáno hromadění minerálního dusíku během podzimu, které může vést ke ztrátám v průběhu zimy. Nezanedbatelným přínosem kejdy a digestátů je zvýšení obsahu většiny živin v půdě. Kompost zvyšuje obsah organické hmoty a hodnoty některých biologických parametrů, což souvisí s velkým vstupem uhlíku v hnojivu. I když je tedy minerální forma dusíku nejefektivnějším zdrojem dusíku, význam organického hnojení pro úrodnost půdy nemůže nahradit.

10 Použitá literatura

1. BALÍK J., ČERNÝ J., KULHÁNEK M. 2012: *Bilance dusíku v zemědělství, Certifikovaná metodika*, ČZU, Praha. ISBN 978-80-213-2329-2.
2. BIELEK, P., (1998): *Dusík v polnohospodářských podacích Slovenska*. VUPOP. Bratislava. 255s, ISBN 80-85361-44-2.
3. DOBERMANN, A. (2007). Nutrient use efficiency—measurement and management, in *Proceedings of the International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices*, 7–9 March 2007, Brussels, 1–28.
4. KABÁTOVÁ N., ŠULOVA R., RYŠAVÝ J. a kol: *Testování odrůd*, ÚKZÚZ 2012. ISBN 978-80-7401-063-7.
5. KLÍR, J., KOZLOVSKÁ, L., HABERLE, J., MÜHLBACHOVÁ, G. *Metodický návod pro hospodaření ve zranitelných oblastech (4. akční program nitrátové směrnice 2016–2020)*
6. MOLL, R. H., KAMPRATH, E. J., JACKSON, W. A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1. *Agron. J.* 74, 562–564. do: 10.2134/agronj1982.00021962007400030 037.
7. SOTÁKOVÁ S., 1982: *Organická hmota úrodnost půdy*, Příroda Bratislava, 234 s.
8. TRÁVNÍK K. (1995): *Stanovené ekologicky únosných obsahů min. dusíku v půdách pásem hygienické ochrany vodních zdrojů*, ÚKZÚZ Brno.
9. ZARZECKA K., GUGALA M., SIKORSKA A., (2019): Nitrates content in table potato tubers under the influence of herbicides and biostimulants. *Acta Ariculturae Scandinavica*, Volume 69, Issue 6
10. ZBÍRAL J. a kol. (2011): *Jednotné pracovní postupy: Analýza půd III*. ISBN 978-80-7401044-6.
11. ZBÍRAL, J. a kol.: *Jednotné pracovní postupy: Analýza rostlinného materiálu: postup 1 a 3*. (UKZÚZ, NRL, 2005).
12. ZBÍRAL, J. a kol.: *Jednotné pracovní postupy: Analýza půd I, postup 2, postup 3.1* (UKZÚZ, NRL, 2001).
13. ZBÍRAL, J. a kol.: *Jednotné pracovní postupy: Analýza rostlinného materiálu: postup 1 a 3*. (UKZÚZ, NRL, 2005).