

Mendelova univerzita v Brně  
Vysoké učení technické v Brně  
Agrovýzkum Rapotín s.r.o  
Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Uplatněná certifikovaná metodika pro praxi

Metodika 64/23

## **Metodika aplikace tekutých organických hnojiv do půdy pro trvalé travní porosty (TTP)**

Ing. Martin Brtnický

Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

Ing. Antonín Kintl

prof. Ing. Kučerík Jiří, Ph.D.

Ing. Julie Sobotková

Ing. Oldřich Látal, Ph.D.

Ing. Tereza Hammerschmiedt, Ph.D.

Brno 2023

**Autoři:**

<sup>1,2</sup> Ing. Martin Brtnický

<sup>1,3</sup> Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

<sup>1,4</sup> Ing. Antonín Kintl

<sup>2</sup> prof. Ing. Kučerík Jiří, Ph.D.

<sup>4</sup> Ing. Julie Sobotková

<sup>1,3</sup> Ing. Oldřich Látal, Ph.D.

<sup>1</sup> Ing. Tereza Hammerschmiedt

<sup>1</sup> Mendelova univerzita v Brně

<sup>2</sup> Vysoké učení technické v Brně

<sup>3</sup> Agrovýzkum Rapotín s.r.o

<sup>4</sup> Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

**Dedikace:**

Uplatněná certifikovaná metodika byla vypracována za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci projektu číslo TH04030132 „Systémy aplikace tekutých organických hnojiv jako prostředek ke zlepšení půdního prostředí, zvýšení využitelnosti živin rostlinami a jako prostředek k minimalizaci dopadů na životní prostředí“.

**Certifikace:**

Metodika byla certifikována Ministerstvem zemědělství osvědčením č. MZE-6322/2023-13123 ze dne 7.2.2023.

**Oponovali:**

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství ČR

doc Ing. Jan Vopravil, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

**Vydavatel:**

© Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Zahradní 1, 664 41 Troubsko

**ISBN:**

978-80-88000-45-7 (Zemědělský výzkum, spol. s r.o.)

Metodika je volně dostupná ke stažení v elektronické verzi na odkazu:

<https://www.vupt.cz/cz/odborne-informace/metodiky-technologie-pro-praxi>

## OBSAH

ABSTRAKT.....	4
CÍL METODIKY.....	4
ÚVOD.....	5
VLASTNÍ POPIS METODIKY .....	6
Charakteristika lokality a zemědělského podniku.....	6
Postup realizace .....	6
Hodnocení ekonomických přínosů.....	7
Odběr půdních vzorků a jejich analýzy .....	8
Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu .....	8
SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“ .....	12
POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY.....	12
SOUHRN.....	13
POUŽITÁ LITERATURA.....	14
SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE.....	18

## ABSTRAKT

V letech 2019 až 2021 byly sledovány 2 způsoby hnojení trvalého travního porostu digestátem a byl hodnocen jejich vliv půdní vlastnosti, výnos travní biomasy a dopad do ekonomiky pěstování trvalého travního porostu. Kontrolní varianta byla porovnávána s hlubší injektáží do půdního profilu a povrchovou aplikací digestátu hadicí. Podpovrchová aplikace digestátu pomocí injektoru vedla k lepšímu využití živin, což v praxi povede ke zvýšení konkurenceschopnosti zemědělského podniku v souvislosti se zvýšením hektarových výnosů a snížením spotřeby minerálních hnojiv. Dle předpokladu měla lepší ekonomický přínos aplikace digestátu pomocí injektoru, která vedla k průměrnému zvýšení výnosu sušiny travní biomasy o  $0,94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  a tím k celkovému ekonomickému přínosu v hodnotě  $970 \text{ Kč} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Aplikace pomocí hadicového aplikátoru pak zvýšila průměrný výnos o  $0,66 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , což odpovídá zvýšení zisku o  $326 \text{ Kč} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Při hodnocení mimoekonomického přínosu, jsme dospěli k závěru, že aplikace digestátu do půdy pomocí injektoru byla přínosná pro celkovou sekvestraci uhlíku. Obsah amoniakálního dusíku v půdě byl nejnižší ve variantě hnojené injektorem, zatímco obsah dusičnanů a ureázová aktivita byly nejvyšší, což odpovídá zvýšené mineralizaci dusíku a oxidaci amoniaku. Naopak hadicová aplikace digestátu měla nepříznivé účinky na nitrifikaci (volatilizace amoniaku a další oxidace). Nicméně pH se v důsledku aplikace digestátu významně snížilo bez ohledu na přístup, pravděpodobně v důsledku acidifikačního účinku příjmu amoniakálního dusíku rostlinami.

### **Klíčová slova**

Trvalý travní porost digestát, výnos, ekonomický přínos, mikrobiální aktivita.

## CÍL METODIKY

Hlavním cílem předkládané metodiky je poskytnout zemědělským podnikům hospodařícím na trvalých travních porostech (TTP) potřebné informace o vlivu podpovrchové aplikace tekutých organických hnojiv (digestátu) do travního drnu. Dále o tom, jak tento metodický postup může zlepšit chemicko-biologické parametry půdy a zvýšit produkční potenciál obhospodařované půdy. Technologie podpovrchové aplikace tekutých organických hnojiv vede k vyšší efektivnosti jejich zapravení a k vhodnějšímu využití živin rostlinami. Hospodárnější využití živin z organických hnojiv a jejich přímá aplikace do půdy také přispívají k ochraně životního prostředí a možnému snížení spotřeby průmyslových hnojiv, což je aktuálně velmi výhodné vzhledem k vysokému nárůstu jejich cen.

## ÚVOD

Digestát, patřící mezi tekutá organická hnojiva, je prokukován jako vedlejší produkt anaerobní výroby bioplynu vysokým počtem bioplynových stanic. Vzhledem k velkému vyprodukovanému množství vyžaduje tento materiál vhodné zpracování nebo recyklaci. Pro zemědělskou praxi se jako slibné jeví využití anaerobních digestátů jako hnojiv. Digestát má vysoký obsah rostlinám přístupných makro- a mikroživin, a proto by mohl nahradit minerální hnojiva přidávaná jak do orné půdy, tak na pastviny a louky. Existuje několik studií, které ukazují pozitivní vliv aplikace digestátu na kvalitu a kvantitu bylinného porostu trvalých travních porostů (Kováčková et al. 2013), na hnojení užitkových travních porostů (Pawlett et al. 2018) nebo na růst prosa (Lee et al. 2021).

Vliv digestátu na vlastnosti půdy a rostlin však závisí na způsobu aplikace hnojiva do půdy (Badagliacca et al. 2022; Nicholson et al. 2017). Celoplošný postřik nebo rozmetání tekutých organických hnojiv může vést ke ztrátám živin (Nicholson et al. 2017; Nyord et al. 2010; Seidel et al. 2017), které lze snížit buď okyselením upraveného digestátu (Seidel et al. 2017), nebo zavedením tekutého hnojiva do hlubšího půdního profilu pomocí injektáže nebo mělkého zapravení pomocí vlečné hadice (Kozlovský et al. 2010; Nicholson et al. 2017; Nyord et al. 2010; Saeys et al. 2008; Seidel et al. 2017).

Obecně může povrchová aplikace digestátu způsobit zrychlenou nitrifikaci a denitrifikaci, a také uvolňování amoniaku a oxidu dusného, silného skleníkového plynu, do atmosféry (Johansen et al. 2013; Seidel et al. 2017). Takový úbytek dusíku je spojen také s produkcí dalších skleníkových plynů včetně oxidu uhličitého a metanu (Dieterich et al. 2012; Eickenscheidt et al. 2014) a značnou ztrátou dalších živin. Naopak podpovrchová aplikace digestátu prostřednictvím injektáže snižuje dostupnost organické hmoty a živin, jako je labilní organický uhlík, dusík, čímž zabraňuje rychlé oxidaci a nitrifikaci (Czubaszek a Wysocka-Czubaszek 2018; Seidel et al. 2017) a snižuje míru produkce skleníkových plynů (Maucieri et al. 2016; Wulf et al. 2002). Nicméně bylo zjištěno, že narušení půdy pomocí diskového injektoru způsobuje poškození trávy a plodin (Chen et al. 2001; Nyord et al. 2010). Předpokládaná závažnost těchto nepříznivých účinků závisí na půdním typu (Kayser et al. 2015) nebo může být zmírněna načasováním aplikace tekutých organických hnojiv a jejím rozdělením do více dávek během vegetačního období (Delin a Stenberg 2021).

Regulace emisí dusíku ze zemědělské činnosti je považována za klíčovou z pohledu ochrany troposféry, stratosféry a klimatu. Moderní strategie zahrnují techniky precizního zemědělství (Casa et al. 2011) využívající technologie dálkového snímání emisí dusíku (Kanter et al. 2019), využití inhibitorů nitrifikace (Diacono et al. 2013) potlačujících schopnost mikrobů přeměňovat amoniak na dusičnany a bránících vzniku oxidu dusného (Simpson et al. 2021) nebo omezení regulující zemědělskou produkci. Některé z těchto přístupů jsou však zatím nedokonalé nebo příliš drahé na to, aby mohly být běžně využívány (van der Hoek a Leonardi 2022). Proto je nejjednodušší začít zdokonalovat stávající strategie hospodaření s půdou (Shrestha 2014), jako je například podpovrchová aplikace tekutých organických hnojiv.

## VLASTNÍ POPIS METODIKY

### Charakteristika lokality a zemědělského podniku

Zemědělské družstvo Čechtice se nachází ve Středočeském kraji ve výrobní oblasti bramborářské. Jedná se o klimatický region mírně teplý, vlhký – MT10 s průměrnou nadmořskou výškou 496 m n. m., průměrnou roční teplotou 6–7 °C a průměrným ročním úhrnem srážek 650–750 mm. V této lokalitě se nachází kambizem mezobazická.

Podnik obhospodařuje celkem 2 188 ha zemědělské půdy. Z celkové výměry připadá 1 840 ha na ornou půdu a 348 ha na trvalé travní porosty (TTP). V rámci rostlinné výroby podnik pěstuje plodiny pro zabezpečení krmné základny i tržní: pšenice ozimá, žito ozimé a jarní, ječmen ozimý a jarní, oves, řepka ozimá, brambory, luskoviny, silážní kukuřice a jetel červený. V rámci živočišné výroby je podnik specializován na chov dojného skotu. Chová průměrně 650 kusů dojnic plemene holštýnský skot a jeho křížence. Mimo to podnik vlastní zemědělskou bioplynovou stanici s průměrnou roční produkcí 8 663 tun digestátu, která zpracovává zemědělské odpady: zbytkové siláže, senáže a zbytkový rostlinný materiál a prasečí kejdu.

### Postup realizace

Na vybrané lokalitě „Kyselka“ (GPS: N 49°37.95577', E 15°1.90202') byly v letech 2019 až 2021 sledovány 3 poloprovozní varianty s definovanou aplikací digestátu dle metodiky. S ohledem na výše uvedené výhody a nevýhody různých způsobů aplikace digestátu byly porovnávány hlubší injektáž do půdního profilu a povrchová aplikace hadicím s kontrolní variantou. Byl hodnocen vliv sledovaných přístupů aplikace digestátu do půdy trvalého travního porostu na půdní vlastnosti a výnos travní biomasy.



**Obr.1: Aplikace samojízdným aplikátorem vybaveným travním injektorem**

V květnu 2019 byly na vybrané lokalitě založeny 3 poloprovozní varianty o velikosti cca 0,6 ha s definovanou aplikací digestátu dle metodiky. Kontrolní půda nebyla upravována ani narušována žádným aplikačním zařízením. K aplikaci digestátu pod povrch půdy (do hloubky 4 cm) byl využit samojízdňový stroj VT4556 (Vredo Dodewaard B.V, Nizozemí) vybavený travním injektorem ZB3 8448 (Vredo Dodewaard B.V, The Nizozemí). Aplikace na povrch půdy byla realizována za využití standardního hadicového aplikátoru, který podnik využívá. Digestát byl aplikován dvakrát během

vegetačního období, po první a druhé seči trávy, vždy v dávce 20 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Každý rok byly provedeny 3 seče. Dále byl pozemek obhospodařován dle standardních agrotechnických postupů v místě obvyklých.

**Tab. 1: Přehled termínů seči a aplikace digestátu**

Rok	Seč	Termín seče	Termín aplikace digestátu
2019	I.	02.06.2019	07.06.2019
	II.	31.07.2019	08.08.2019
	III.	01.11.2019	
2020	I.	21.05.2020	09.06.2020
	II.	07.07.2020	07.08.2020
	III.	31.10.2020	
2021	I.	02.06.2021	08.06.2021
	II.	11.08.2021	02.09.2021
	III.	09.11.2021	

**Tab. 2: Průměrné vlastnosti aplikovaného digestátu (± směrodatná odchylka)**

Rok	Sušina (%)	N v sušině (g·kg <sup>-1</sup> )	P v sušině (g·kg <sup>-1</sup> )	K v sušině (g·kg <sup>-1</sup> )
2019	4.496 ± 0.118	31.960 ± 0.694	7.717 ± 1.074	80.367 ± 0.167
2020	5.270 ± 0.208	26.203 ± 1.054	10.244 ± 0.373	31.713 ± 1.268
2021	5.323 ± 0.351	31.522 ± 1.716	8.390 ± 1.399	68.619 ± 0.555

Každá varianta byla sklizena celá na traktorový přívěs, který byl neprodleně zvážen na mobilní nápravové váze o váživosti 0–15 t (±1 kg), byly odebrány vzorky na stanovení sušiny sklizené biomasy a dále byl vyhodnocen výnos v tunách sušiny na hektar za celou variantu. První seč v roce 2019 není zobrazena a započtena do celkového výnosu, protože v té době byl celý pozemek ošetřován shodně. Jednotlivé varianty začaly být ovlivňovány různou aplikací digestátu až první aplikací po první seči v červnu 2019.

**Tab. 3: Výnos sušiny dle seči (t·ha<sup>-1</sup>)**

Var.	2019				2020					2021					Celkem	
	II.	III.	Σ	Δ	I.	II.	III.	Σ	Δ	I.	II.	III.	Σ	Δ	Σ	Δ
K	0,72	1,23	1,95	0	4,76	2,33	4,38	11,47	0	5,71	3,57	2,06	11,34	0	24,76	0
Inj.	0,78	1,58	2,36	0,41	5,04	2,62	4,97	12,63	8,25	5,88	3,99	2,71	12,58	1,24	27,57	2,81
Had.	0,8	1,36	2,16	0,21	4,8	2,35	5,09	12,24	7,86	5,86	4,16	2,31	12,33	0,99	26,73	1,97

### Hodnocení ekonomických přínosů

Ekonomický dopad byl vyhodnocen dle dané varianty rozdílem vícenákladů na aplikaci digestátu danou technologií a vyššího ocenění produkce, tzn. výnosu travní biomasy ve vztahu ke kontrolní variantě.

Kalkulované vstupy

Náklady: Vícenáklady na aplikaci digestátu:

- Pojezd při aplikaci 20 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>: 400 Kč·ha<sup>-1</sup>
- Přistavení cisterny s 10 m<sup>3</sup> tekutého organického hnojiva: 100 Kč·ks<sup>-1</sup>

Výnosy: Ocenění produkce senáže (dle průměrné ceny ČSU v daném roce sklizně):

- 2019: 2 100 Kč·t<sup>-1</sup>sušiny
- 2020: 2 389 Kč·t<sup>-1</sup>sušiny
- 2021: 2 320 Kč·t<sup>-1</sup>sušiny

**Tab. 4: Kalkulace výnosu v letech 2020-2021**

Var.	Rok 2020			Rok 2020			Rok 2021			SUMA	Výnosy	
	t·ha <sup>-1</sup>	t·ha <sup>-1</sup>	Kč·ha <sup>-1</sup>	t·ha <sup>-1</sup>	t·ha <sup>-1</sup>	Kč·ha <sup>-1</sup>	t·ha <sup>-1</sup>	t·ha <sup>-1</sup>	Kč·ha <sup>-1</sup>	t·ha <sup>-1</sup>	Kč·ha <sup>-1</sup>	Kč·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>
		ku kontrole		ku kontrole		ku kontrole						
K	1,95	0,00	0	11,47	0,00	0	11,34	0,00	0	24,76	0	0
Inj.	2,36	0,41	861	12,63	1,16	2 771	12,58	1,24	2 877	27,57	6 509	2 170
Had.	2,16	0,21	441	12,24	0,77	1 839	12,33	0,99	2 297	26,73	4 577	1 526

**Tab. 5: Kalkulace vícenákladů v letech 2019-2021 a celkový přínos**

Varianta	2019	2020	2021	SUMA	Vícenáklady	Výnosy	Vícenáklady	Rozdíl
	Vícenáklady			Kč·ha <sup>-1</sup>	Kč·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup>	Kč·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> ku kontrole		
	Kč·ha <sup>-1</sup>							
K	0	0	0	0	0	0	0	0
Inj.	1200	1200	1200	3600	1200	2170	-1200	970
Had.	1200	1200	1200	3600	1200	1526	-1200	326

Aplikace digestátu oběma přístupy má pozitivní vliv na ekonomiku pěstování trvalého travního porostu. Dle předpokladu měla lepší ekonomický přínos aplikace digestátu pomocí injektoru, která vedla k průměrnému zvýšení výnosu sušiny travní biomasy o 0,94 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> a tím k celkovému ekonomickému přínosu v hodnotě 970 Kč·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Aplikace pomocí hadicového aplikátoru pak zvýšila průměrný výnos o 0,66 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, což odpovídá zvýšení zisku o 326 Kč·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Vzhledem k tomu, že je digestát považován většinou zemědělci za odpadní produkt výroby bioplynu, je přínos jeho aplikace o to významnější. Díky aplikaci digestátu, se kterým musí zemědělec tak jako tak nějakým způsobem naložit, je možné snížit spotřebu minerálních hnojiv při zachování výnosového potenciálu půdy. Čímž se ještě zvýší příznivý vliv aplikace digestátu na ekonomiku pěstování trvalých travních porostů.

#### Odběr půdních vzorků a jejich analýzy

Na konci října 2021 byly odebrány půdní vzorky z hloubky 0-15 cm ve třech opakováních pro každou variantu. Vzorky byly převezeny do laboratoře, homogenizovány, prosety ( $\leq 2$  mm) a vysušeny na vzduchu pro měření pH dle ISO 10390 (2005), celkového uhlíku (TC) pomocí přístroje Vario Macro Cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Německo) a celkového dusíku podle Kjeldahla (TKN) dle ISO 11261 (1995). Lyofilizované vzorky byly použity pro stanovení ureázové aktivity (Ure) podle ISO 20130 (2018). Vzorky zchlazené na 4 °C byly použity pro stanovení substrátem, L-alaninem (Ala-SIR) a N-acetyl--D-glukosaminidázou (NAG-SIR), indukované respirace pomocí přístroje MicroResp podle protokolu James Hutton Institute a Campbell et al. (2003). V čerstvých vzorcích byl měřen minerální, amoniakální (NH<sub>4</sub>) a nitrátový (NO<sub>3</sub>) dusík pomocí pH metru MPH 372 s plynou amoniakální elektrodou typu 10 - 23 (MMonokrystaly Turnov, Česká republika), resp. pH metru MPH 171 s iontově selektivní elektrodou typu 07-35 (MMonokrystaly Turnov, Česká republika) (Houba et al. 1992).

#### Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu

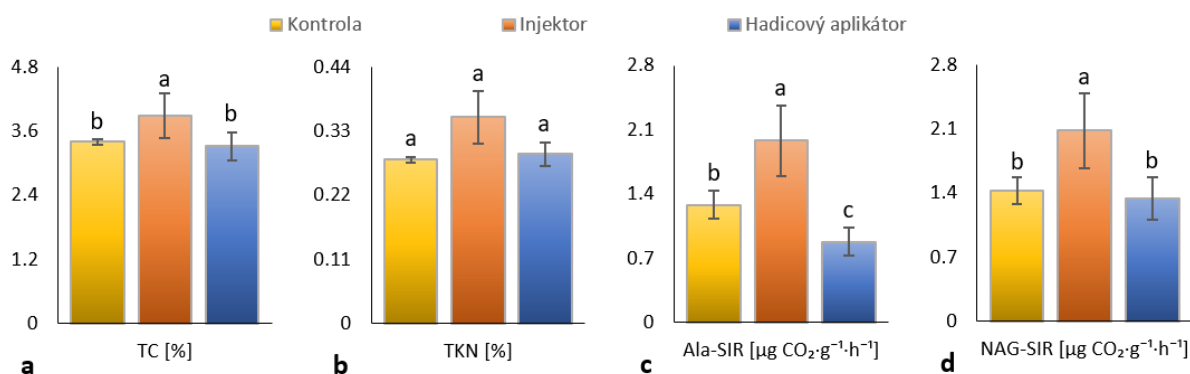
Digestát obsahuje ve zbytcích organických látek značné množství uhlíku. Avšak jen málo studií se zaměřilo na vliv konkrétního typu aplikace na celkový uhlík v půdě (TC). V tomto případě bylo dokázáno, že použití injektorové aplikace významně zvýšilo obsah TC v příslušné variantě půdy ve srovnání s nezměněnou kontrolou, zatímco použití hadicové aplikace nikoli. Obr. 2a. Tento pozitivní vliv na sekvestraci uhlíku může být přisuzován hlubšímu zapravení digestátu prostřednictvím injektoru,



protože sekvestrace uhlíku přímo souvisí s hloubkou alokace půdní organické hmoty v půdním profilu (Gross a Glaser 2021; Lorenz a Lal 2005). Naopak povrchová aplikace prostřednictvím hadice mohla vést k oxidaci organického uhlíku z digestátu nebo v menší míře k emisím metanu, jak studie sledují maximální hodnoty toků  $\text{CO}_2$  a krátkodobých toků  $\text{CH}_4$  při rozmetání digestátu na povrch pole (Czubaszek a Wysocka-Czubaszek 2018).

Současně byl předpokládán rozdíl v obsahu dusíku v půdě vlivem různé aplikace digestátu, ale hodnoty celkového dusíku podle Kjeldahla (TKN) nevykazovaly mezi všemi třemi variantami žádný statisticky významný rozdíl, Obr. 2b. Nicméně průměrná hodnota TKN v půdě ošetřené injektorem měla v porovnání s dalšími dvěma variantami vyšší tendenci k obohacení dusíkem.

Přesto byly zjištěny zjevné změny v mineralizační aktivitě živin. Substrátem indukovaná respirace (SIR), která udává schopnost funkčně diverzifikovaných mikrobiálních společenstev využívat různé zdroje uhlíku a dusíku, L-alanin (Ala) a N-acetyl-D-glukosaminidázu (NAG), byla u tří příslušných půdních variant rozdílná. Ala-SIR byl významně nejvyšší ve variantě s injektorem, zatímco varianta s hadicovým aplikátorem vykazovala významně nejnižší hodnotu, Obr. 2c. NAG-SIR byl rovněž významně vyšší u varianty injektor ve srovnání s hadicovou variantou a kontrolou, které měly obě srovnatelné hodnoty, Obr. 2d. Z výrazně nižších (ve srovnání s variantou injektor) hodnot Ala-SIR a NAG-SIR u varianty s hadicovým aplikátorem, jejíž hodnoty byly sniženy (Ala-SIR) nebo srovnatelné (NAG-SIR) s kontrolou, usuzujeme, že na konci vegetačního období byla většina oxidovatelného uhlíku získaného z digestátem u této varianty spotřebována. Injektáží se digestát v zásadě dostává do méně oxidačních podmínek ve srovnání s aplikací na povrch. Aerobní procesy jsou pomalejší, protože je omezen obsah kyslíku, nitrifikace probíhá pomaleji. Na povrchu jsou oxidační procesy energeticky bohatší a mineralizuje se více dusíku, tj. svrchní vrstva půdy je ve srovnání s podorními mikrobiálně bohatší. Naopak oxidovatelné zdroje uhlíku zavedené hluboko do půdního profilu ve variantě s injektorem (navíc ve dvou aplikačních termínech) byly chráněny před rychlou respirací a zachovaly si značné množství oxidovatelného uhlíku, které podporovalo výrazně zvýšený podíl oxidantů v mikrobiálním společenstvu několik týdnů po aplikaci.



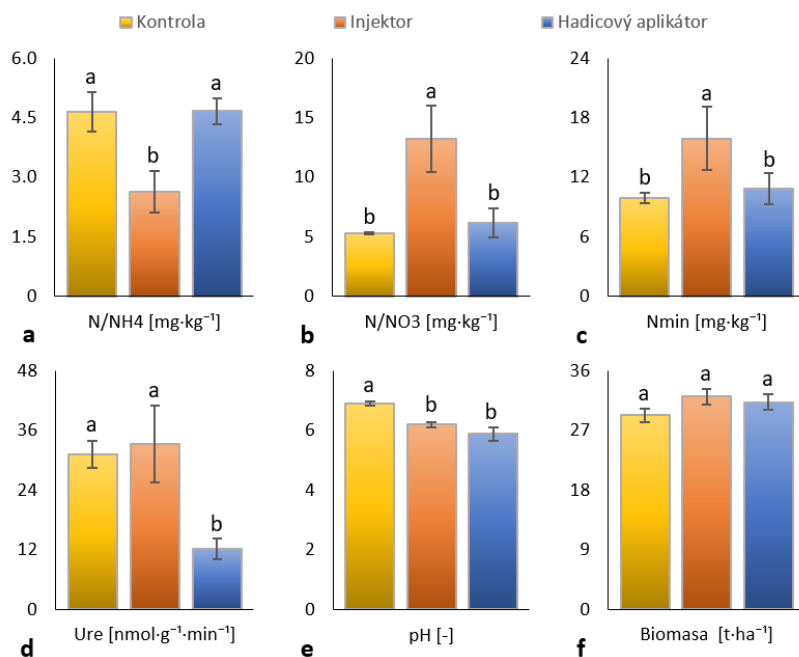
**Obr.2: Obsah celkového uhlíku (a) a celkového Kjeldahlova dusíku (b), respirace indukovaná L-alaninem (c) a N-acetyl--D-glukosaminidázou**

Sloupce zobrazují průměrné hodnoty, chybové úsečky směrodatné odchylky. Písmena označují rozdíly na hladině statistické významnosti  $p \leq 0,05$ .

Rozdíly ve sledované substrátem indukované respiraci předpokládají i rozdíly v procesu mineralizace dusíku. Obsah amoniakální formy dusíku ( $\text{N}/\text{NH}_4$ ) - převažující v digestátu byl výrazně nižší u varianty s injektorem ve srovnání s ostatními dvěma variantami, které vykazovaly srovnatelné hodnoty, Obr.

3a. Srovnatelné hodnoty N/NH<sub>4</sub> u kontrolní a hadicové varianty ukázaly, že povrchová aplikace digestátu provedená dvakrát během vegetačního období neobohatila půdu o amoniakální dusík. To potvrzuje nepříznivý vliv tohoto aplikačního přístupu na volatilizaci amoniaku, který uvádí několik autorů (Nicholson et al. 2017; Seidel et al. 2017). Injektorová varianta však vykazovala nezměněnou aktivitu ureázy (Ure), která uvolňuje amoniak do půdy, a toto zjištění neodpovídalo snížení N/NH<sub>4</sub> u injektorové varianty. Naopak aplikace hadicí významně snížila hodnotu Ure ve srovnání s ostatními dvěma variantami, Obr. 3d. Rychlost respirace v závislosti na množství mikrobiálních aerobních oxidátorů v půdě souvisela s obsahem Kjeldahlova dusíku a určovala především tvorbu dusičnanů (N/NO<sub>3</sub>) v půdě. Obsah konečného produktu nitrifikace, dusičnanů (N/NO<sub>3</sub>), byl výrazně zvýšen u varianty s injektorem ve srovnání s ostatními dvěma variantami, které vykazovaly srovnatelné hodnoty N/NO<sub>3</sub>, Obr. 3b. Oproti jiným autorům jsme v půdě trvalého travního porostu neočekávali výrazné ztráty dusičnanů vyluhováním (Kayser et al. 2011), a to z důvodu nižšího pH injektorové varianty ve srovnání s kontrolou a předpokládaného vysokého kontinuálního přístupu amoniaku připisovaného nezměněné aktivitě ureázy. Vyšší dostupnost amoniaku znamená menší konkurenci mezi rostlinami a mikrobem a zrychlenou přeměnu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Schimel a Bennett 2004). Vzhledem k tomu, že většinu minerálního dusíku (N<sub>min</sub>) představoval N/NO<sub>3</sub>, odpovídaly tomu i rozdíly mezi variantami, Obr. 3c. Podobně byl zaznamenán zvýšený obsah minerálního dusíku v půdě hnojené injektáží ve srovnání s plošnou aplikací v pozdější vegetační fázi kukuřice (Westerschulte et al. 2016).

Aplikace digestátu také ovlivnila pH půdy. U obou hnojených variant došlo ke statisticky významnému snížení pH půdy ve srovnání s kontrolou, Obr. 3e. Pozorované výrazné snížení pH půdy u obou variant s přidavkem digestátu mohlo vést k nepříznivému vlivu na výnos rostlinné (travní) biomasy. Proto mohl být omezen pozitivní vliv hnojení na kumulativní výnos rostlinné biomasy za celé sledované období. A to i přesto, že bylo prokázáno několik pozitivních změn v obsahu živin, v transformačních procesech a mikrobiální aktivitě v půdě. Přestože bylo možné pozorovat pozitivní trend ve výnosu biomasy v hnojených variantách, ve výsledku nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v kumulativním výnosu rostlinné (travní) biomasy za celé sledované období, Obr. 3f. Což se shoduje s již pozorovaným pozitivním vlivem injektáže digestátu (ve srovnání s jinými přístupy) na výnos travní biomasy (Chen et al. 2001; Kozlovský et al. 2010).



**Obr.3: Obsah amoniakálního (a), nitrátového (b) a minerálního dusíku (c), aktivita ureázy (d), pH (e) a kumulativní biomasa v sušině za celé sledované období (f)**

Sloupce zobrazují průměrné hodnoty, chybové úsečky směrodatné odchylky. Písmena označují rozdíly na hladině statistické významnosti  $p \leq 0,05$ .

## SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“

Postupy uvedené v metodice jsou originální a nelze je jako celek porovnávat s žádnou jinou metodikou, protože podobná metodika nebyla vydána u nás ani v zahraničí.

## POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Metodika je určena zemědělským podnikům zaměřeným na rostlinnou výrobu. Metodika může být využita akreditovanými poradci v oblasti zemědělské výroby a ekonomiky, pracovníky decizní sféry v působnosti Ministerstva zemědělství včetně Oddělení regionálních odborů a Státního zemědělského intervenčního fondu, profesními organizacemi (Agrární komora ČR, Zemědělský svaz ČR aj.), pracovníky zemědělského výzkumu, studenty středních a vysokých škol orientovaných na zemědělskou problematiku, pedologii a ochranu životního prostředí.

## SOUHRN

Využití uvedeného řešení v praxi umožní zemědělským subjektům efektivnější hospodaření s tekutými organickými hnojivy (digestátem) v rámci pěstování trvalých travních porostů. Podpovrchová aplikace těchto hnojiv pomocí injektoru do trvalého travního porostu vede k lepšímu využití živin v nich obsažených, ke snížení emisí skleníkových plynů, což povede k lepší ochraně životního prostředí i zvýšení konkurenceschopnosti zemědělského podniku v souvislosti se zvýšením hektarových výnosů a snížením spotřeby minerálních hnojiv.

Aplikace digestátu oběma přístupy má pozitivní vliv na ekonomiku pěstování trvalého travního porostu. Dle předpokladu měla lepší ekonomický přínos aplikace digestátu pomocí injektoru, která vedla k průměrnému zvýšení výnosu sušiny travní biomasy o  $0,94 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  a tím k celkovému ekonomickému přínosu v hodnotě  $970 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Aplikace pomocí hadicového aplikátoru pak zvýšila průměrný výnos o  $0,66 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , což odpovídá zvýšení zisku o  $326 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Vzhledem k tomu, že je digestát považován většinou zemědělci za odpadní produkt výroby bioplynu, je přínos jeho aplikace o to významnější.

Při hodnocení mimoekonomického přínosu, jsme dospěli k závěru, že aplikace digestátu do půdy pomocí injektoru byla přínosná pro celkovou sekvestraci uhlíku pravděpodobně díky omezené dostupnosti labilního uhlíku pro rychlou aerobní (respirační) mineralizaci. Výrazně nejvyšší substrátem indukované respirace v injektorové variantě tento předpoklad potvrdily. Přestože celkový obsah dusíku byl u všech variant srovnatelný, byly pozorovány rozdíly v rychlosti nitrifikace. Amoniakální dusík byl nejnižší ve variantě hnojené injektorem, zatímco obsah dusičnanů a ureázová aktivita byly nejvyšší, což odpovídá zvýšené mineralizaci dusíku a oxidaci amoniaku. Naopak hadicová aplikace digestátu měla nepříznivé účinky na nitrifikaci (volatilizace amoniaku a další oxidace). Nicméně pH se v důsledku aplikace digestátu významně snížilo bez ohledu na přístup, pravděpodobně v důsledku acidifikačního účinku příjmu amoniakálního dusíku rostlinami.

## POUŽITÁ LITERATURA

- Badagliacca G, Romeo M, Gelsomino A, Monti M (2022) Short-term effects of repeated application of solid digestate on soil C and N dynamics and CO<sub>2</sub> emission in a clay soil olive (*Olea europaea* L.) orchard. *Cleaner and Circular Bioeconomy* 1: 100004. doi: 10.1016/j.clcb.2022.100004.
- Campbell CD, Chapman SJ, Cameron CM, Davidson MS, Potts JM (2003) A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. *Appl Environ Microbiol* 69: 3593-3599. doi: 10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003.
- Casa R, Cavalieri A, Lo Cascio B (2011) Nitrogen fertilisation management in precision agriculture: a preliminary application example on maize. *Italian Journal of Agronomy* 6: e5. doi: 10.4081/ija.2011.e5.
- Czubaszek R, Wysocka-Czubaszek A (2018) Emissions of carbon dioxide and methane from fields fertilized with digestate from an agricultural biogas plant. *International Agrophysics* 32: 29-37. doi: 10.1515/intag-2016-0087.
- Delin S, Stenberg M (2021) Effects on nitrate leaching of the timing of cattle slurry application to leys. *Soil Use and Management* 37: 436-448. doi: 10.1111/sum.12595.
- Diacono M, Rubino P, Montemurro F (2013) Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33: 219-241. doi: 10.1007/s13593-012-0111-z.
- Dieterich B, Finnan J, Frost P, Gilkinson S, Müller C (2012) The extent of methane (CH<sub>4</sub>) emissions after fertilisation of grassland with digestate. *Biol Fertil Soils* 48: 981-985. doi: 10.1007/s00374-012-0714-1.
- Eickenscheidt T, Freibauer A, Heinichen J, Augustin J, Drösler M (2014) Short-term effects of biogas digestate and cattle slurry application on greenhouse gas emissions affected by N availability from grasslands on drained fen peatlands and associated organic soils. *Biogeosciences* 11: 6187-6207. doi: 10.5194/bg-11-6187-2014.
- Gross A, Glaser B (2021) Meta-analysis on how manure application changes soil organic carbon storage. *Sci Rep* 11: 5516. doi: 10.1038/s41598-021-82739-7.
- Haling RE, Simpson RJ, Culvenor RA, Lambers H, Richardson AE (2011) Effect of soil acidity, soil strength and macropores on root growth and morphology of perennial grass species differing in acid-soil resistance. *Plant Cell Environ* 34: 444-456. doi: 10.1111/j.1365-3040.2010.02254.x.
- Houba VJG, Novozamsky I, van der Lee JJ (1992) Soil testing and plant analysis in Western Europe. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23: 2029-2051. doi: 10.1080/00103629209368723.
- Chen Y, Zhang Q, Petkau DS (2001) Evaluation of different techniques for liquid manure application on grassland. *Appl Eng Agric* 17: 489-496.

- ISO 10390:2005. Soil quality - Determination of pH. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 11261:1995. Soil quality — Determination of total nitrogen — Modified Kjeldahl method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 20130:2018. Soil quality — Measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Johansen A, Carter MS, Jensen ES, Hauggard-Nielsen H, Ambus P (2013) Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O. *Appl Soil Ecol* 63: 36-44. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.09.003.
- Kanter DR, Bell AR, McDermid SS (2019) Precision Agriculture for Smallholder Nitrogen Management. *One Earth* 1: 281-284. doi: 10.1016/j.oneear.2019.10.015.
- Kayser M, Benke M, Isselstein J (2011) Little fertilizer response but high N loss risk of maize on a productive organic-sandy soil. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 709-718. doi: 10.1007/s13593-011-0046-9.
- Kayser M, Breitsameter L, Benke M, Isselstein J (2015) Nitrate leaching is not controlled by the slurry application technique in productive grassland on organic-sandy soil. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 213-223. doi: 10.1007/s13593-014-0220-y.
- Kováčiková Z, Vargová V, Jančová Ľ (2013) Effect of Digestate Application on Herbage Quality and Quantity of Permanent Grassland. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)* 59: 88-98. doi: 10.2478/agri-2013-0008.
- Kozlovský O, Balík J, Černý J, Kulhánek M, Hák J, Kohoutek A (2010) Assessment of surface and injection fertilization on various grass hybrids in grass-clover mixture. *Plant, Soil and Environment* 56: 557-563. doi: 10.17221/174/2010-pse.
- Lee M-S, Urgun-Demirtas M, Shen Y, Zumpf C, Anderson EK, Rayburn AL, Lee DK (2021) Effect of digestate and digestate supplemented with biochar on switchgrass growth and chemical composition. *Biomass Bioenerg* 144: 105928. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105928.
- Lorenz K, Lal R (2005) The Depth Distribution of Soil Organic Carbon in Relation to Land Use and Management and the Potential of Carbon Sequestration in Subsoil Horizons. *Advances in Agronomy* 88: 35-66. doi: 10.1016/s0065-2113(05)88002-2.
- Maucieri C, Barbera AC, Borin M (2016) Effect of injection depth of digestate liquid fraction on soil carbon dioxide emission and maize biomass production. *Italian Journal of Agronomy* 10: 6. doi: 10.4081/ija.2016.657.

- Neuberg M, Pavlíková D, Pavlík M, Balík J (2010) The effect of different nitrogen nutrition on proline and asparagine content in plant. *Plant, Soil and Environment* 56: 305-311. doi: 10.17221/47/2010-pse.
- Nicholson FA, Bhogal A, Rollett A, Taylor M, Williams JR (2017) Precision application techniques reduce ammonia emissions following food-based digestate applications to grassland. *Nutr Cycl Agroecosyst* 110: 151-159. doi: 10.1007/s10705-017-9884-4.
- Nyord T, Kristensen EF, Munkholm LJ, Jørgensen MH (2010) Design of a slurry injector for use in a growing cereal crop. *Soil and Tillage Research* 107: 26-35. doi: 10.1016/j.still.2010.01.001.
- Pawlett M, Owen A, Tibbett M (2018) Amenity grassland quality following anaerobic digestate application. *Grassl Sci* 64: 185-189. doi: 10.1111/grs.12202.
- Saeyns W, Wallays C, Engelen K, Ramon H, Anthonis J (2008) An automatic depth control system for shallow slurry injection, Part 2: Control design and field validation. *Biosyst Eng* 99: 161-170. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.10.011.
- Scott BJ, Ridley AM, Conyers MK (2000) Management of soil acidity in long-term pastures of south-eastern Australia: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 1173. doi: 10.1071/ea00014.
- Seidel A, Pacholski A, Nyord T, Vestergaard A, Pahlmann I, Herrmann A, Kage H (2017) Effects of acidification and injection of pasture applied cattle slurry on ammonia losses, N<sub>2</sub>O emissions and crop N uptake. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 247: 23-32. doi: 10.1016/j.agee.2017.05.030.
- Shrestha R (2014) Soil Fertility under Improved and Conventional Management Practices in Sanga, Kavrepalanchowk District, Nepal. *Nepal Agric Res J* 9: 110-122. doi: 10.3126/narj.v9i0.11639.
- Schimel JP, Bennett J (2004) Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology* 85: 591-602.
- Simpson NP, Mach KJ, Constable A, Hess J, Hogarth R, Howden M, Lawrence J, Lempert RJ, Muccione V, Mackey B, New MG, O'Neill B, Otto F, Pörtner H-O, Reisinger A, Roberts D, Schmidt DN, Seneviratne S, Strongin S, van Aalst M, Totin E, Trisos CH (2021) A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth* 4: 489-501. doi: 10.1016/j.oneear.2021.03.005.
- van der Hoek M, Leonardi E (2022) 2022 Dutch Farmer Protests Against New Nitrogen GHG Emissions Reductions Policies. *Agriculture in the News, Dairy and Products, Livestock and Products, Climate Change/Global Warming/Food Security, Poultry and Products*. Foreign Agriculture Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Westerschulte M, Federolf C-P, Trautz D, Broll G, Olf H-W (2016) Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: soil mineral nitrogen. *Nutr Cycl Agroecosyst* 107: 1-17. doi: 10.1007/s10705-016-9799-5.



Wulf S, Maeting M, Clemens J (2002) Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: II. Greenhouse gas emissions. *Journal of environmental quality* 31: 1795-1801. doi: 10.2134/jeq2002.1795.

## SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

Časopis Agriculture ( $J_{imp}$ ): Does Digestate Dose Affect Fodder Security and Nutritive Value?, <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/133>

Časopis Agronomy ( $J_{imp}$ ): Biochar and Sulphur Enriched Digestate: Utilization of Agriculture Associated Waste Products for Improved Soil Carbon and Nitrogen Content, Microbial Activity, and Plant Growth, <https://doi.org/10.3390/agronomy11102041>

Časopis Agronomy ( $J_{imp}$ ): Comparison of the Agricultural Use of Products from Organic Waste Processing with Conventional Mineral Fertilizer: Potential Effects on Mineral Nitrogen Leaching and Soil Quality, <https://doi.org/10.3390/agronomy10020226>

Časopis Agronomy ( $J_{imp}$ ): Deciphering the Effectiveness of Humic Substances and Biochar Modified Digestates on Soil Quality and Plant Biomass Accumulation, <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/7/1587>

Časopis Agronomy ( $J_{imp}$ ): Effects of Strip-Till and Simultaneous Fertilization at Three Soil Depths on Soil Biochemical and Biological Properties, <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/11/2597>

Časopis Agronomy Research ( $J_{sc}$ ): Digestate application with regard to greenhouse gases and physical soil properties <https://doi.org/10.15159/ar.21.125>

Chemical and Biological Technologies in Agriculture ( $J_{imp}$ ): EFFECT of digestates derived from the fermentation of maize-legume intercropped culture and maize monoculture application on soil properties and plant biomass production, <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00310-6>

Užitný vzor č. 34062 „Aplikátor a zařízení pro vícevrstvou aplikaci kapalných organických hnojiv“ zapsaný u Úřadu průmyslového vlastnictví

Vědecká příloha časopisu Úroda ( $J_{ost}$ ): Ovlivnění půdní respirace přidavkem digestátu s různým obsahem síry

Vědecká příloha časopisu Úroda ( $J_{ost}$ ): Vliv aplikace digestátu do porostu vojtěšky na její výnos a půdní parametry

Vědecká příloha časopisu Úroda ( $J_{ost}$ ): Vliv obohaceného digestátu na půdní respiraci

Vědecká příloha časopisu Úroda ( $J_{ost}$ ): Vliv přidavku biouhlu a bentonitu na kvalitativní parametry digestátu