

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

Uplatněná certifikovaná metodika pro praxi

Metodika 63/23

**Metodika aplikace tekutých organických hnojiv do půdy
během vegetačního období obilnin**

Ing. Tereza Hammerschmiedt, Ph.D.

Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

Ing. Antonín Kintl

Ing. Oldřich Látal, Ph.D.

doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D.

Ing. Julie Sobotková

Ing. Martin Brtnický

Brno 2023

Autoři:

¹ Ing. Tereza Hammerschmiedt

^{1,2} Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

^{1,3} Ing. Antonín Kintl

^{1,2} Ing. Oldřich Látal, Ph.D.

¹ doc. Ing. Petr Škarpa, Ph.D.

³ Ing. Julie Sobotková

¹ Ing. Martin Brtnický

¹ Mendelova univerzita v Brně

² Agrovýzkum Rapotín s.r.o

³ 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-6335/2023-13123 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:

978-80-88000-44-0 (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 |
| VLASTNÍ POPIS METODIKY..... | 7 |
| Charakteristika lokality a zemědělského podniku..... | 7 |
| Postup realizace..... | 7 |
| Hodnocení ekonomických přínosů..... | 11 |
| Odběr a příprava půdních vzorků..... | 12 |
| SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“ | 15 |
| POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY..... | 15 |
| SOUHRN..... | 16 |
| POUŽITÁ LITERATURA..... | 17 |
| SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE..... | 20 |

ABSTRAKT

V letech 2020 a 2021 byl hodnocen vliv injektáže variabilního množství tekutých organických hnojiv (digestátu) v období regeneračního hnojení po zimě na zvýšení přísunu živin do půdy při pěstování obilnin a na zlepšení chemicko-biologických parametrů půdy. Přímá aplikace digestátu do půdy ovlivňuje snížení úniku volného amoniaku a vyplavování dusičnanů do podzemních vod a tím přispívá k ochraně životního prostředí. Zavedení nově ověřených metodických postupů prokazatelně přispěje ke zvýšení konkurenceschopnosti v zemědělské prvovýrobě vzhledem k dlouhodobému zvýšení hektarových výnosů a možnosti snížení množství využívaných minerálních hnojiv. Nejvyšších výnosů dosáhly v obou letech varianty hnojené nejvyššími dávkami digestátu. Varianta 25 m³/ha + II. reg. hnojení minerálními hnojivy vyprodukovala ročně průměrně o 1,14 t zrna/ha více než varianta hnojená pouze minerálními hnojivy a dosáhla zvýšení průměrného ročního zisku o 4 480 Kč/ha. Průměrný roční finanční zisk z variant s aplikací 15 i 20 m³/ha bez II. reg. hnojení minerálními hnojivy dokonce přesáhl výnos z variant hnojených stejným množstvím digestátu i minerálními hnojivy, došlo k průměrnému ročnímu zvýšení o 397 Kč/ha, resp. 903 Kč/ha.

Klíčová slova

Pšenice; digestát; aplikace do půdy; ekonomika; výnos

CÍL METODIKY

Hlavním cílem metodiky je poskytnout zemědělským podnikům hospodařícím na orné půdě potřebné informace, jak vlivem aplikace variabilního množství tekutých organických hnojiv (digestátu) zvýšit přísun živin do půdy při pěstování obilnin během vegetace. Dále zlepšit chemicko-biologické parametry půdy a zvýšit produkční potenciál takto obhospodařované půdy. Přímá aplikace tekutých organických hnojiv do půdy např. formou injektáže v praxi znamená vyšší efektivitu této činnosti oproti klasickému přihnojování formou cisternového botkového aplikátoru či rozstřiku na povrch a lepší využití živin rostlinami. V neposlední řadě se jedná i o přispění k ochraně životního prostředí a možné snížení potřeby průmyslových hnojiv v souvislosti s extrémním růstem cen vstupů.

ÚVOD

V poslední době dochází vlivem zvyšujících se cen vstupů při výrobě průmyslových hnojiv ke skokovému nárůstu jejich prodejní ceny a zemědělci jsou nuceni v souladu s udržitelným hospodařením omezit jejich spotřebu v neprospěch snížení hektarových výnosů. Dle ČSÚ stála např. 1 tuna ledku amonného s vápencem 27 % (LAV 27) v prvním čtvrtletí 2021 průměrně 4 648 Kč, ale ve čtvrtém čtvrtletí se dostala až na 12 224 Kč. Z toho důvodu mají organická hnojiva bohatá na živiny stále vyšší význam v zemědělské výrobě. Mezi tekutá organická hnojiva je řazen i digestát, vedlejší produkt z výroby bioplynu, který obsahuje významné množství snadno dostupných živin, zejména dusíku, fosforu a draslíku (Koszela Lorencowicz, 2015). Aplikace digestátu jako půdního hnojiva vrací většinu živin nezbytných pro růst rostlin zpět do orné půdy (Rivard et al. 1995; Båth and Rämert 1999; Wang et al. 2008), čímž udržuje úrodnost půdy (Adediran et al. 2003), zlepšuje půdní strukturu a zvyšuje obsah půdní organické hmoty (Wang 2014; Gryń et al. 2020). Důležitá je také optimalizace managementu aplikace tekutých organických hnojiv, která má za cíl zvýšit využitelnost živin rostlinami, zlepšit úrodnost půdy a snížit její degradaci. Mezi metody přímé aplikace digestátu, které minimalizují únik volného amoniaku řadíme injektáž, která oproti aplikaci technikou povrchové aplikace (rozstřík a hadicový aplikátor) přináší nižší ztráty amoniaku (IEA 2010; Huisjmsmans et al. 2002, Wulf et al., 2002). Nevýhodou injektáže je její vyšší cena a vyšší riziko poškození porostu ve srovnání s ostatními uvedenými metodami povrchové aplikace.

Z hlediska výnosového potenciálu působí aplikace digestátu a využitelnost v něm dodaného dusíku pouze krátkodobě (Albuquerque et al., 2012). Vzhledem k právním aspektům, zejména v souvislosti s omezením aplikace dusíku na zemědělskou půdu v souvislosti normativy živin a příjmem živin rostlinami, legislativou, vlastnostmi digestátu a ekonomice výroby je nejčastěji aplikované množství digestátu mezi 20–40 t/ha. Hnojení digestátem by mělo probíhat na polích sousedících s bioplynovou stanicí, což umožní vhodně kombinovat uzavřený cyklus a ekonomiku výroby jednotlivých plodin s ohledem na jejich aktuální požadavky (Czekała et al., 2020). Mnohé studie (Riva et al. 2016; Panuccio et al. 2018) ukázaly, že účinky digestátu na výnos plodin závisí na mnoha faktorech, jako jsou půdní vlastnosti, klimatické podmínky během vegetačního období, chemické složení a aplikační dávky digestátu, způsob aplikace a druh plodin. Při aplikaci 20 t/ha digestátu bylo prokázáno významné zvýšení výnosu zrna v obilovinách s účinností srovnatelnou s použitím průmyslových hnojiv (Šimon et al. 2015).

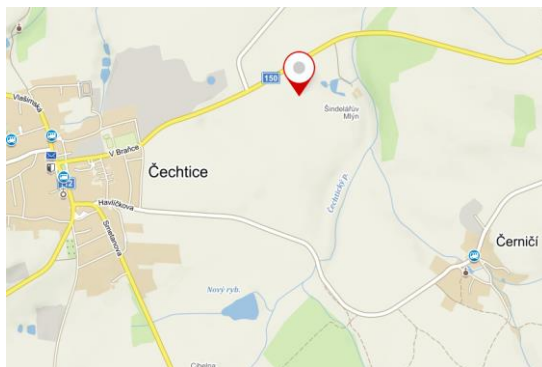
Mezi nejhojněji pěstované plodiny v podmínkách České republiky (ČR) patří obilniny. Dle údajů ČSÚ byla v roce 2021 celková výměra osevní plochy v ČR 2 452 tis. ha. Obilniny na zrna zaujímaly výměru více jak 1 334 tis. ha, z toho pšenice ozimá 709 tis. ha a ječmen ozimý 111 tis. ha. Pšenice ozimá je hlavní obilovinou určenou zejména k výživě člověka, ale také ke krmným účelům pro hospodářská zvířata, k průmyslovému a energetickému využití. Jedním z rozhodujících faktorů při tvorbě výnosu pšenice ozimé je adekvátní příjem živin rostlinami. Zvýšenou pozornost hnojení pšenice je nutné věnovat zejména na jaře v období intenzivního růstu, které je rozhodující pro tvorbu výnosových prvků, mezi které patří počet odnoží a klasů, jejich délka, počet zrn, jejich kvalita a hmotnost tisíce zrn (HTZ). Správným načasováním výživy rostlin lze tyto parametry zvýšit. Regenerační hnojení po zimě má vliv na podporu počtu odnoží, zatímco počet zrn v klase lze zvýšit produkčním hnojením na začátku sloupkování a pozdní přihnojení můžeme pozitivně ovlivnit hmotnost zrn a jejich kvalitativní parametry (Ryant et al. 2017).

Barlóg et al. (2020) hodnotili po dobu 4 let vliv aplikace 20 t/ha digestátu a průmyslových hnojiv při stejné úrovni hnojení na výnosy zrna pšenice ozimé v porovnání s kontrolou bez aplikace hnojiv. Varianta s digestátem měla výnos 8,51 t/ha a byla významně vyšší oproti kontrole (27,2 %) a NPK hnojení (9,0 %). Další studie (Petraityte et al., 2022) se v letech 2018–2020 zabývala polními pokusy s ozimou pšenicí s variantami bez aplikace dusíku (kontrola), s aplikací DAM 390, digestátu a praseč kejdy s inhibítorem nitrifikace Vizura® v období jarního přihnojování v 1 dávce (N_{120}) a ve dvou dávkách ($N_{120}+N_{50}$). Z výsledků výzkumu je patrné, že hnojiva aplikovaná během suchého vegetačního období měla negativní dopad na příjem dusíku. Při optimální vlhkosti se výrazně zvýšil obsah N-NO₃ v ornici při aplikaci hnojiv, zatímco v podorničí došlo oproti kontrole ke zvýšení N-NO₃ u všech variant hnojení.

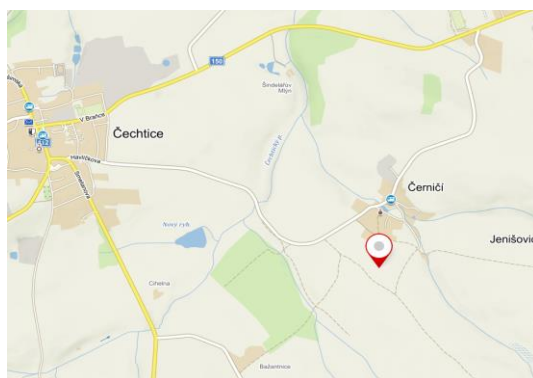
VLASTNÍ POPIS METODIKY

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.



Obrázek 1: Mapa lokality v roce 2020 (GPS: 49.6263458N, 15.0638369E)



Obrázek 2: Mapa lokality v roce 2021 (GPS: 49.6162719N, 15.0742658E)

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 tržní účely i pro zabezpečení krmné základny, a to pšenici ozimou, žito ozimé a jarní, ječmen ozimý a jarní, oves, řepku ozimá, brambory, luskoviny, silážní kukuřici 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, zbytkový rostlinný materiál a prasečí kejdu.

Postup realizace

Na pozemcích Zemědělského družstva Čechtice byly pro ověření metodických postupů v reálných podmínkách v letech 2020 a 2021 postupně založeny poloprovozní pokusy s pšenicí ozimou. Ověřován byl vliv variabilní aplikace digestátu formou injektáže do půdy po zimě ve fázi II. regeneračního hnojení. Sledovány byly vybrané půdní parametry a výnos biomasy pšenice ozimé. V rámci ověřování dané aplikace byl hodnocen dopad do ekonomiky s přínosem do ochrany životního prostředí.

Každý rok byl vybraný pozemek rozdělen do jednotlivých poloprovozních variant v souladu s Tabulkou 1. Aplikace digestátu byla provedena v souladu s metodikou pokusu. Pozemek byl obhospodařován dle standardních agrotechnických postupů v místě obvyklých.

Tabulka 1: Jednotlivé varianty pokusu a aplikace digestátu

| Dávka digestátu | II. |
|--------------------|------------|
| m ³ /ha | regenerace |
| 0 | NE |
| 15 | NE |
| 20 | NE |
| 0 | ANO |
| 10 | ANO |
| 15 | ANO |
| 20 | ANO |
| 25 | ANO |

Digestát byl v obou letech 2020 a 2021 aplikován v období II. regeneračního hnojení s využitím samochodného stroje VREDO (typ VT4556) vybaveného vegetačním aplikátorem – injektorem firmy P&L. U tří variant bylo v rámci metodiky pokusu vynecháno II. regenerační hnojení dusíkatými průmyslovými hnojivy v dávce 60 kg N/ha.



Obrázek 3: VREDO (typ VT4556) s vegetačním aplikátorem – injektorem



Obrázek 4: Stav porostu po aplikaci digestátu

Digestát pocházel z podnikové bioplynové stanice. Průměrné chemické složení digestátu v jednotlivých letech je uveden v Tabulce 2.

Tabulka 2: Chemické parametry digestátu v letech 2020-2021

| Rok | N | P | K |
|------|-------------|-----------|------------|
| | g/kg sušiny | | |
| 2020 | 35,49±1,84 | 9,14±1,90 | 77,47±1,65 |
| 2021 | 31,52±2,14 | 8,34±1,21 | 68,63±1,84 |

Pro zlepšení využití dusíku byla společně s digestátem aplikována pomocná půdní látka Vizura® (BASF, Česká republika), která se využívá jako inhibitor nitrifikace zvyšující účinnost dusíku v tekutých statkových a organických hnojivech a v kapalných minerálních hnojivech. Aplikační dávka Vizury byla 2 l/ha. Amonný dusík ze statkových, organických a minerálních hnojiv se v půdě rychle přeměňuje na dusičnany v závislosti na teplotě, vlhkosti a stavu půdy. Přidáním přípravku Vizura® se tento proces výrazně zpomalí. Díky tomu mají rostliny k dispozici dusík v amonné formě po delší dobu, což je pro ně z fyziologického hlediska výhodné. Amonná forma dusíku se na rozdíl od dusičnanů z půdy nevyplavuje. Obzvláště v případě silných srážek, které jsou spojeny s rizikem vyplavování dusičnanů, je účinek přípravku Vizura® výrazný.

V roce 2019 byla vybrána lokalita „Za Kasárny I, II“, kde byla naseta dne 24. 9. 2019 v rámci osevního postupu pro rok 2020 pšenice ozimá (odrůda RGT Reform o výsevku 160 kg/ha). Hnojení zásobními živinami bylo provedeno před setím, celoplošné přihnojení dusíkatými hnojivy bylo provedeno na jaře 2020. Stanovená dávka čistých živin byla 160 kg N/ha. V březnu 2020 bylo na lokalitě založeno 8 poloprovozních variant o velikosti varianty cca 1 ha s definovanou aplikací digestátu dle metodiky.

Aplikace digestátu byla v souladu s metodikou pokusu v termínu II. regeneračního hnojení dne 27. 3. 2020. U variant 1–3 bylo v rámci metodiky pokusu vynecháno II. regenerační hnojení dusíkatými průmyslovými hnojivy v dávce 60 kg N/ha.

V průběhu roku 2020 byla hodnocena tři růstová stadia pšenice ozimé dle Baiera, Smetánkové a Baierové (1988) při průměrné analýze a odběru 3×100 rostlin / varianta:

- hodnocení ve stádiu BBCH 21 [prvá odnož viditelná: počátek odnožování] – 27. 3. 2020;
- hodnocení ve stádiu BBCH 61 [počátek květu: první prašníky viditelné] – 20. 6. 2020;
- hodnocení ve stádiu BBCH 89 [mrtvá zralost; zrno nelze nehtem stisknout ani zlomit] – 15. 8. 2020.

Sklizeň a hodnocení parametrů výnosu se uskutečnilo dne 21. 8. 2020. Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standartní samojízdné sklízecí mlátičky. Každá varianta byla sklizena celá na traktorový přívěs, který byl neprodleně zvážen na mobilní nápravové váze o váživosti 0-15 t (přesnost ±1 kg) a dále byl vyhodnocen výnos (t/ha) za celou variantu.

Tabulka 3: Hodnocení vybraných růstových parametrů a výnosů pšenice ozimé v roce 2020

| Digestát | II. regenerace | Výška 1 rostliny | | Výnos t/ha |
|----------|-------------------|------------------|------------|---------------|
| | | cm (27.3.) | cm (20.6.) | |
| 0 | NE | 12,3 | 95,8 | 7,42 |
| 15 | NE | 12,0 | 100,1 | 7,91 |
| 20 | NE | 11,6 | 104,6 | 8,25 |
| 0 | ANO | 12,5 | 106,7 | 8,10 |
| 10 | ANO | 12,3 | 109,1 | 8,31 |
| 15 | ANO | 11,6 | 111,7 | 8,52 |
| 20 | ANO | 12,2 | 112,1 | 8,75 |
| 25 | ANO | 12,0 | 114,5 | 9,15 |

V roce 2020 byla vybrána lokalita „Za Sady“, kde byla naseta dne 5. 10. 2020 v rámci osevního postupu pro rok 2021 pšenice ozimá (odrůda RGT Ponticus o výsevku 160 kg/ha). Hnojení zásobními živinami bylo provedeno před setím, celoplošné přihnojení dusíkatými hnojivy bylo provedeno na jaře 2021. Stanovená dávka čistých živin byla na úrovni 160 kg N/ha. V březnu 2021 bylo na lokalitě založeno 8 poloprovozních variant o velikosti varianty cca 1 ha s definovanou aplikací digestátu dle metodiky.

Aplikace digestátu byla v souladu s metodikou pokusu v termínu II. regeneračního hnojení dne 30. 3. 2021. U variant 1–3 bylo v rámci metodiky pokusu vynecháno II. regenerační hnojení dusíkatými průmyslovými hnojivy v dávce 60 kg/ha.

V průběhu roku 2021 byla hodnocena tři růstová stádia pšenice ozimé dle Baiera, Smetánkové a Baierové (1988) při průměrné analýze a odběru 3×100 rostlin / varianta:

- hodnocení ve stádiu BBCH 21 [prvá odnož viditelná: počátek odnožování] – 30. 3. 2021;
- hodnocení ve stádiu BBCH 61 [počátek květu: první prašníky viditelné] – 26. 6. 2021;
- hodnocení ve stádiu BBCH 89 [mrtvá zralost; zrno nelze nehtem stisknout ani zlomit] – 16. 8. 2021.

Sklizeň a hodnocení parametrů výnosu se uskutečnilo dne 3. 9. 2021. Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standardní samojízdné sklízecí mlátičky. Každá varianta byla sklizena celá na traktorový přívěs, který byl neprodleně zvážen na mobilní nápravové váze o váživosti 0-15 t (přesnost ±1 kg) a dále byl vyhodnocen výnos (t/ha) za celou variantu.

Tabulka 4: Hodnocení vybraných růstových parametrů a výnosů pšenice ozimé v roce 2021

| Digestát | II. regenerace | Výška 1 rostliny | | Výnos t/ha |
|----------|-------------------|------------------|------------|---------------|
| | | cm (30.3.) | cm (26.6.) | |
| 0 | NE | 13,3 | 93,3 | 7,90 |
| 15 | NE | 13,0 | 97,5 | 8,71 |
| 20 | NE | 14,2 | 99,6 | 9,08 |
| 0 | ANO | 13,7 | 96,5 | 8,92 |
| 10 | ANO | 13,3 | 100,6 | 9,39 |
| 15 | ANO | 13,0 | 104,3 | 9,63 |
| 20 | ANO | 13,2 | 105,6 | 9,89 |
| 25 | ANO | 13,6 | 108,7 | 10,15 |

Hodnocení ekonomických přínosů

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

Kalkulované vstupy

Náklady: Vícenáklady aplikace digestátu:

- Pojezd při aplikaci 10 a 15 m³/ha: 400 Kč/ha
- Pojezd při aplikaci 20 a 25 m³/ha: 500 Kč/ha
- Přistavení cisterny s 10 m³ tekutého organického hnojiva: 100 Kč/ks

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

- Pšenice ozimá (2020): 4 173 Kč/tuna
- Pšenice ozimá (2021): 5 023 Kč/tuna

Tabulka 5: Kalkulace výnosu v letech 2020-2021, varianty bez II. reg. hnojení minerálními hnojivy

| Digestát m ³ /ha | Rok 2020 | | | Rok 2021 | | | SUMA Kč/ha | Výnosy Kč/ha/rok |
|--------------------------------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|-------|---------------|---------------------|
| | t/ha | t/ha | Kč/ha | t/ha | t/ha | Kč/ha | | |
| | | ku kontrole | ku kontrole | | ku kontrole | | | |
| 0 | 7,42 | 0,00 | 0 | 7,90 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 7,91 | 0,49 | 2 045 | 8,71 | 0,81 | 4 069 | 6 113 | 3 057 |
| 20 | 8,25 | 0,83 | 3 464 | 9,08 | 1,18 | 5 927 | 9 391 | 4 695 |

Tabulka 6: Kalkulace výnosu v letech 2020-2021, varianty s II. reg. hnojením minerálními hnojivy

| Digestát m ³ /ha | Rok 2020 | | | Rok 2021 | | | SUMA Kč/ha | Výnosy Kč/ha/rok |
|--------------------------------|----------|-------------|-------------|----------|-------------|-------|---------------|---------------------|
| | t/ha | t/ha | Kč/ha | t/ha | t/ha | Kč/ha | | |
| | | ku kontrole | ku kontrole | | ku kontrole | | | |
| 0+ | 8,1 | 0,00 | 0 | 8,92 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 10+ | 8,31 | 0,21 | 876 | 9,39 | 0,47 | 2 361 | 3 237 | 1 619 |
| 15+ | 8,52 | 0,42 | 1 753 | 9,63 | 0,71 | 3 566 | 5 319 | 2 659 |
| 20+ | 8,75 | 0,65 | 2 712 | 9,89 | 0,97 | 4 872 | 7 585 | 3 792 |
| 25+ | 9,15 | 1,05 | 4 382 | 10,15 | 1,23 | 6 178 | 10 560 | 5 280 |

Tabulka 7: Kalkulace vícenákladů a celkový přínos, varianty bez II. reg. hnojení minerálními hnojivy

| Digestát m ³ /ha | Pojezd | Cisterna | Vícenáklady | Výnosy | Vícenáklady | Rozdíl |
|--------------------------------|----------------------|----------|-------------|--------|-------------|--------------|
| | Vícenáklady aplikace | | Kč/ha/rok | | | |
| | Kč/ha/rok | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 400 | 200 | 600 | 3 057 | -600 | 2 457 |
| 20 | 500 | 200 | 700 | 4 695 | -700 | 3 995 |

Tabulka 8: Kalkulace vícenákladů a celkový přínos, varianty s II. reg. hnojením minerálními hnojivy

| Digestát m ³ /ha | Pojezd | Cisterna | Vícenáklady | Výnosy | Vícenáklady | Rozdíl |
|--------------------------------|----------------------|----------|-------------|-----------------------|-------------|--------------|
| | Vícenáklady aplikace | | Kč/ha/rok | Kč/ha/rok ku kontrole | | |
| | Kč/ha/rok | | | | | |
| 0+ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10+ | 400 | 100 | 500 | 1 619 | -500 | 1 119 |
| 15+ | 400 | 200 | 600 | 2 659 | -600 | 2 059 |
| 20+ | 500 | 200 | 700 | 3 792 | -700 | 3 092 |
| 25+ | 500 | 300 | 800 | 5 280 | -800 | 4 480 |

Nejvyšších výnosů dosáhly v obou letech varianty hnojené nejvyššími dávkami digestátu. Varianta 25 m³/ha + II. reg. hnojení minerálními hnojivy vyprodukovala ročně průměrně o 1,14 t zrna/ha více než varianta hnojená pouze minerálními hnojivy a dosáhla zvýšení průměrného ročního zisku o 4 480 Kč/ha. Průměrný roční finanční zisk z variant s aplikací 15 i 20 m³/ha bez II. reg. hnojení minerálními hnojivy činí 2457 Kč/ha, resp. 3995 Kč/ha. U těchto variant dokonce přesáhl výnos z variant hnojených stejným množstvím digestátu i minerálními hnojivy, došlo k průměrnému ročnímu zvýšení o 397 Kč/ha, resp. 903 Kč/ha.

Odběr a příprava půdních vzorků

Každý rok na po sklizni obilnin byly odebrány půdní vzorky z hloubky 0–15 cm. Z jednotlivých variant byly odebrány tři souhrnné porušené vzorky, z nichž se každý skládal z osmi jednotlivých dílčích vzorků. Každý souhrnný vzorek byl homogenizován, zbaven rostlinných a živočišných zbytků a proset sítím o velikosti ok 2 mm na tzv. jemnozem. Každý vzorek byl rozdělen na 3 části. Část vzorku využitá pro stanovení mikrobiologických půdních parametrů (L-alaninem indukovaná respirace) byla uchována při 4 °C. A část vzorku pro chemické půdní analýzy byla vysušena na vzduchu (pH) nebo ihned po odběru zmrazena (obsah minerálního, amoniakálního a nitrátového dusíku).

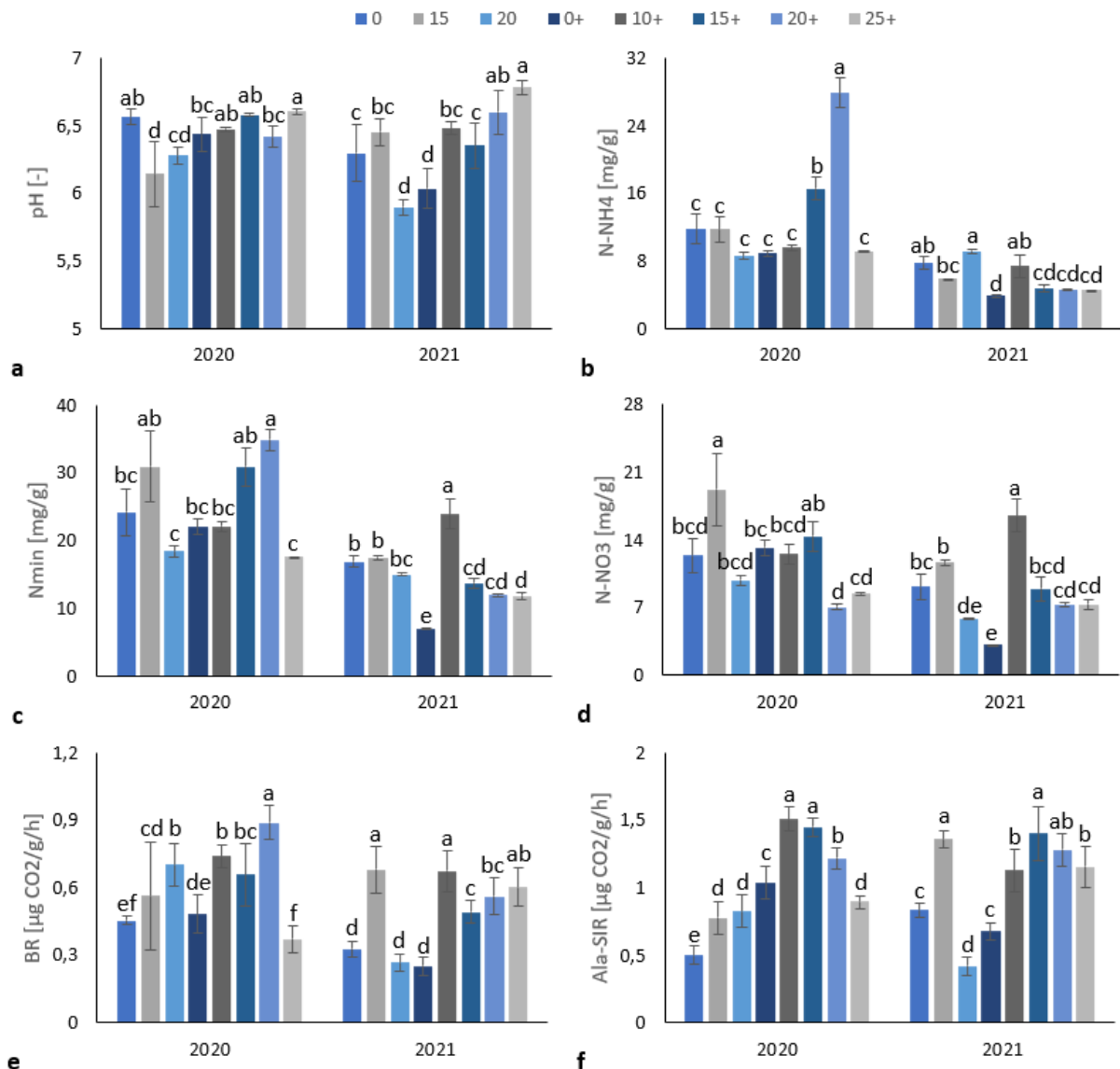
Stanovení amoniakálního (NH₄) a nitrátového (NO₃) dusíku bylo realizováno za použití pH metru MPH 372 s amoniakovou plynovou elektrodou 10–23, respektive za použití pH metru MPH 171 s iontově selektivní elektrodou 07–35 (obě Monokrystaly Turnov, Česká republika). Obsah minerálního dusíku byl stanoven jako součet NH₄ a NO₃.

Bazální a substrátem indukovaná respirace (SIR) umožňuje kvantifikovat katabolickou aktivitu aerobních mikroorganismů. Použitá metoda MicroResp byla provedena podle původní metodiky (Campbell et al. 2003) a oficiálního protokolu dodavatele (Technická příručka v2.1, Institut Jamese Huttona) bez (bazální) a s přidáním specifického zdroje energie (L-alaninem).

Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomické přínosy

V obou sledovaných rocích bylo při vynechání 2. regeneračního hnojení půdní pH sníženo aplikací vyšší dávky digestátu (20 m³/ha), v roce 2020 ke zvýšené acidifikaci přispěla i nižší dávka (15 m³/ha), Obrázek 5a. Naopak při provedení 2. regeneračního hnojení aplikace digestátu k poklesu pH nevedla a nejvyšší dávka digestátu (25 m³/ha) způsobila zvýšení pH v obou letech 2020 i 2021 (Obrázek 5). Aplikace hnojiv bohatých na amoniakální dusík (jako např. digestát) vede v počáteční fázi nitrifikace a při přímé utilizaci NH₄⁺ rostlinami k acidifikaci půdy (Bolan et al. 1991; Bleam 2012), čímž lze vysvětlit pokles pH jednotlivých variant hnojení s aplikací digestátu bez 2. regeneračního hnojení. V konečném důsledku

však digestát může pH půdy (de la Fuente et al. 2012) také zvyšovat, při úplné nitrifikaci vede příjem nitrátu (finálního produktu mineralizace) rostlinami k exkreci -OH iontů a alkalizaci rhizosféry (Bleam 2012). Největší přísun dusíku ve variantě 25 m³/ha s II. reg. hnojením byl tedy předpokladem vysokého obsahu minerálního dusíku (N_{min}) a jeho přeměny na nitrát, která byla spojena s mírným vzrůstem půdního pH (Obrázek 5a).



Obrázek 5: Hodnoty půdního pH (a), obsahu forem minerálního dusíku (amoniakální (b), celkový (c), nitrátový (d)), bazální respirace (e) a alaninem indukované respirace (f) v půdě hnojené digestátem s/bez 2. regeneračního hnojení v roce 2020 a 2021.

Průměrné hodnoty ± směrodatná odchylka, statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pro každý rok zvlášť.

S ohledem na výše popsany vliv změn v obsahu dusíku na půdní pH vysvětlujeme rozdíl v obsahu amoniakálního dusíku v čerstvé půdní hmotě v roce 2020 ve variantě 20+ (Obrázek 5b) s konečným důsledkem poklesu pH. Celkově nižší minerální dusík (Obrázek 5c) byl v roce 2021 ve variantě 20 m³/ha výsledkem současného vyššího příjmu amoniakální frakce obilninami a nižších reziduálního NH₄⁺ s následnou sníženou alkalizací. Naopak ta mohla být podmíněna vysokým obsahem nitrátového

dusíku (Obrázek 5d) ve variantě 15 m³/ha (rok 2021), který v důsledku způsobil vyšší pH této varianty v porovnání s rokem 2020. Tento výsledek byl v souladu s prokázaným pozitivním účinkem aplikace digestátu na obsah minerálního dusíku (Slepetiene et al. 2020). Výrazný pokles amoniakálního dusíku (statisticky průkazně nejvyššího v roce 2020) ve variantě 20 m³/ha + II. reg. hnojení meziročně na hodnotu srovnatelnou (v roce 2021) s kontrolou lze vyložit jako důsledek nejvýraznějšího odčerpání půdního minerálního dusíku plodinami, neboť tento předpoklad je podložen druhým nejvyšším výnosem obilovin v roce 2021. Tento vzrůst výnosu obilnin podmíněný zvýšeným příjmem digestátem dodaného dusíku rostlinami je ve shodě se studií (Simeckova et al. 2016).

Bazální respirace představuje celkovou aktivitu aerobních mikroorganismů v půdě. V obou sledovaných letech byly pozorovány výrazně zvýšené hodnoty tohoto parametru (Obrázek 5e) především u variant s kombinací II. reg. hnojení minerálními hnojivy a digestátu ve všech sledovaných dávkách, výjimku představovala varianta 25+ v roce 2020. Ala-SIR monitoruje potenciál půdního mikrobiomu využívat tuto aminokyselinu a reprezentuje aktivitu aerobních mikroorganismů rozkládajících proteiny. Anaerobní fermentační proces při výrobě bioplynu vede ke zvýšení obsahu volných aminokyselin (Głowacka et al. 2020) v digestátu a dostupnost může stimulovat půdní mikrobiální společenstvo ke katabolickým aktivitám, podobně jako již bylo popsáno (Chen et al. 2012). Ala-SIR (Obrázek 5f) byla zvýšena v obou letech především kombinací aplikovaného digestátu a II. reg. hnojení minerálními hnojivy, především ve středně vysokých dávkách 15 a 20 m³/ha.

Mezi mimoekonomické přínosy přímé aplikace digestátu do půdy z pohledu dlouhodobého časového horizontu patří ochrana životního prostředí zejména snížením úniku volného amoniaku a tím i šetrnější hospodaření s dusíkem v souladu s evropskou a národní legislativou. Po splnění těchto podmínek dochází k celkovému zlepšení půdních podmínek s následným zlepšením ekonomiky zemědělské produkce při současné redukci environmentálních rizik. Především kombinace digestátu v dávkách do 20 m³/ha a II. regeneračního hnojení minerálními hnojivy vede k podpoře aktivity půdního mikrobiomu.

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

Uvedené řešení umožní v době extrémního růstu cen průmyslových hnojiv efektivnější hospodaření s tekutými organickými hnojivy (digestátem). Jeho přímá aplikace do půdy formou injektáže představuje jeden z možných způsobů, jak efektivně využít disponibilní množství živin pro výživu rostlin v období regeneračního hnojení po zimě. Přímá aplikace digestátu do půdy oproti standardní aplikaci na půdu (botkový aplikátor, rozstřík) příznivě ovlivňuje dynamiku biologické dostupnosti živin a tím i optimalizaci růstu rostlin. Přímá aplikace digestátu do půdy má pozitivní vliv na snížení úniku volného amoniaku a vyplavování dusičnanů do podzemních vod a tím přispívá k ochraně životního prostředí a šetrnějšímu hospodaření s dusíkem v souladu s evropskou a národní legislativou. Po splnění těchto podmínek dochází k celkovému zlepšení půdních podmínek s následným zlepšením ekonomiky zemědělské produkce při současné redukcí environmentálních rizik.

Inovační aspekt dosaženého výsledku spočívá v realizaci nových metodických postupů založených na variabilní aplikaci digestátu formou injektáže při pěstování obilnin během vegetace do půdy a jejího vlivu na vybrané půdní parametry, výnos a ekonomiku. Zemědělským podnikům obhospodařujících na orné půdě poskytuje komplexní informace, jak zvýšit přísun živin přímou aplikací digestátu do půdy v období regeneračního hnojení po zimě, které má přímý vliv na podporu počtu odnoží a tím i ovlivnění budoucího výnosu. Dále příznivě ovlivňuje chemicko-biologické půdní parametry.

Zavedení nově ověřených metodických postupů prokazatelně přispěje ke zvýšení konkurenceschopnosti v zemědělské prvovýrobě vzhledem k dlouhodobému zvýšení hektarových výnosů. Nejvyšších výnosů dosáhly v obou letech varianty hnojené nejvyššími dávkami digestátu. Varianta 25 m³/ha + II. reg. hnojení minerálními hnojivy vyprodukovala ročně průměrně o 1,14 t zrna/ha více než varianta hnojená pouze minerálními hnojivy a dosáhla zvýšení průměrného ročního zisku o 4 480 Kč/ha. Průměrný roční finanční zisk z variant s aplikací 15 i 20 m³/ha bez II. reg. hnojení minerálními hnojivy dokonce přesáhl výnos z variant hnojených stejným množstvím digestátu i minerálními hnojivy, došlo k průměrnému ročnímu zvýšení o 397 Kč/ha, resp. 903 Kč/ha.

POUŽITÁ LITERATURA

Adediran J.A., De Baets N., Mnkeni P.N.S., Kiekens L., Muyima N.Y.O. and Thys A. (2003): Organic waste materials for soil fertility improvement in the border region of the eastern cape, south africa. *Biological Agriculture & Horticulture*, **20**(4): 283-300. doi: 10.1080/01448765.2003.9754974.

Albuquerque, J. A., De la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., ... & Bernal, M. P. (2012). Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*, *43*, 119-128.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.06.001>.

Anonym (2021). ČSÚ Soupis ploch osevů k 31. 5. 2021. <https://www.czso.cz/csu/czso/soupis-ploch-osevu-k-31-5-2021>

Anonym (2022): ČSÚ Průměrné ceny vybraných výrobků vstupujících do zemědělství.
<https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=statistiky&katalog=31785>

Baier, J., Smetánková, M., Baierová, V. (1988): Diagnostika výživy rostlin. Praha: MZVŽ ČSR, 1988. 284 s.

Barłóg, P., Hlisnikovský, L., Kunzová, E. (2020). Yield, content and nutrient uptake by winter wheat and spring barley in response to applications of digestate, cattle slurry and NPK mineral fertilizers, *Archives of Agronomy and Soil Science*, *66*:11, 1481-1496.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1676890>

Båth B. and Rämert B. (1999): Organic household wastes as a nitrogen source in leek production. *Acta Agriculturae Scandinavica, B*, **49**(4): 201-208. doi: 10.1080/090647100750001569.

Bleam W.F. (2012). Chapter 7 - acid-base chemistry: Soil and environmental chemistry. Bleam W.F. Boston, Academic Press: 257-319. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415797-2.00007-8>.

Bolan N.S., Hedley M.J. and White R.E. (1991): Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant and Soil*, *134*(1): 53-63. doi: 10.1007/bf00010717.

Campbell, C.D.; Chapman, S.J.; Cameron, C.M.; Davidson, M.S.; Potts, J.M. 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.* 2003, *69*, 3593–3599. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003>.

Czekała, W., Lewicki, A., Pochwatka, P., Czekała, A., Wojcieszak, D., Józwiakowski, K., & Waliszewska, H. (2020). Digestate management in polish farms as an element of the nutrient cycle. *Journal of Cleaner Production*, *242*, 118454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118454>

de la Fuente C., Albuquerque J.A., Clemente R. and Bernal M.P. (2012): Soil c and n mineralisation and agricultural value of the products of an anaerobic digestion system. *Biology and Fertility of Soils*, *49*(3): 313-322. doi: 10.1007/s00374-012-0719-9.

Głowacka A., Szostak B. and Klebaniuk R. (2020): Effect of biogas digestate and mineral fertilisation on the soil properties and yield and nutritional value of switchgrass forage. *10*(4): 490.

Gryń G., Gryń G., Paluszak Z., Olszewska H. and Keutgen A.J. (2020): Chemical and microbiological properties of luvisol after addition of post-fermentation residue. *Journal of Elementology*, **25**(2/2020): 701-716. doi: 10.5601/jelem.2019.24.3.1872.

Huisjsmans JFM, Hol JMG, Hendriks MMW (2002) Effect of application techniques, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to grassland. *Neth J Agric Sci* 49:323–342. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(01\)80021-X](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(01)80021-X)

Chen R., Blagodatskaya E., Senbayram M., Blagodatsky S., Myachina O., Dittert K. and Kuzyakov Y. (2012): Decomposition of biogas residues in soil and their effects on microbial growth kinetics and enzyme activities. *Biomass and Bioenergy*, 45: 221-229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.014>.

IEA (2010) Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser. International Energy Agency, IEA Bioenergy Task 37, Paris

Koszel, M.; Lorenkowicz, E. Agricultural Use of Biogas Digestate as a Replacement Fertilizers. *Agric. Agric. Sci. Procedia* **2015**, 7, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.004>.

Panuccio MR, Papalia T, Attinà E, Giuffrè A, Muscolo A. 2018. Use of digestate as an alternative to mineral fertilizer: effects on growth and crop quality. *Arch Agron Soil Sci.* 65:700–711. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1520980>

Petraityte, D., Arlauskienė, A., Ceseviciene, J. (2022). Use of Digestate as an Alternative to Mineral Fertilizer: Effects on Soil Mineral Nitrogen and Winter Wheat Nitrogen Accumulation in Clay Loam. *Agronomy* 2022, 12, 402. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020402>

Riva C, Orzi V, Carozzi M, Acutis M, Boccasile G, Lonati S, Tambone F, D'Imporzano G, Adani F. 2016. Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Sci Total Environ.* 547:206–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.156>

Rivard C.J., Rodriguez J.B., Nagle N.J., Self J.R., Kay B.D., Soltanpour P.N. and Nieves R.A. (1995): Anaerobic digestion of municipal solid waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **51-52**(1): 125-135. doi: 10.1007/bf02933417.

Ryant, P., Antošovský, J., Škarpa, P. (2017). Hnojení pšenice ozimé na jaře. *Agromanuál: Profesionální ochrana rostlin*. 2017. sv. 12, č. 2, s. 68-70. ISSN 1801-7673.

Simeckova J., Elbl J. and Kintl A. (2016): Changes in content of soil mineral nitrogen and utilization of mineral nitrogen by soil microorganisms due to application of different fertilizers. 23rd International PhD Students Conference (MendelNet), Mendel Univ Brno, Fac AgriSciences, Brno, CZECH REPUBLIC, Mendel Univ Brno, Fac Agronomy.

Slepetiene A., Volungevicius J., Jurgutis L., Liaudanskiene I., Amaleviciute -Volunge K., Slepetys J. and Ceseviciene J. (2020): The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of lithuania. *Waste Manag*, 102: 441-451. doi: 10.1016/j.wasman.2019.11.008.

Šimon T, Kunzová E, Friedlová M. 2015. The effect of digestate, cattle slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. *Plant Soil Environ.* 61:522–527.
<https://doi.org/10.17221/530/2015-PSE>

Wang L. (2014). *Anaerobic digestion of organic wastes*, CRC Press. doi: 10.1201/b16764-24.

Wang Y., Shen F., Liu R. and Wu L. (2008): Effects of anaerobic fermentation residue of biogas production on the yield and quality of chinese cabbage and nutrient accumulations in soil. *International Journal of Global Energy Issues*, **29**(3): 284. doi: 10.1504/ijgei.2008.018009.

Wulf S, Maeting M, Clemens J (2002) Application technique and slurryco-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: I. Ammonia volatilization. *J Environ Qual* 31:1789–1794. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.1789>

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