

Možnosti racionalizace využití fermentačního zbytku z bioplynových stanic

Pavel Míchal*, Pavel Švehla, Barbora Koubková, Jakub Tegel, Pavel Tlustoš

Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Kamýcká 129, Praha 6 – Suchbátka

*e-mail: michalp@af.czu.cz

Souhrn

Příspěvek je zaměřen na shrnutí dosavadních poznatků v oblasti aplikace inovativních postupů zpracování fermentačního zbytku produkovaného v rámci provozu zemědělských bioplynových stanic. Pozornost je věnována zejména racionalizaci využití živin obsažených ve fermentačním zbytku, možnosti eliminovat ztráty dusíku při manipulaci s fermentačním zbytkem a snížení jeho objemu za účelem minimalizace problémů při skladování a transportu. Hlavním cílem presentovaného příspěvku je přitom identifikovat cesty, jak fermentační zbytek co nejlépe využít ve výživě rostlin.

Úvod

Bioplynové stanice (BPS) jsou primárně provozovány s cílem transformovat odpadní organickou hmotu vznikající v zemědělství i v jiných odvětvích na energeticky využitelný bioplyn (Straka et al., 2003; Dohányos et al., 1998). Vedle tohoto hlavního produktu také vzniká při provozu BPS velké množství tzv. fermentačního zbytku označovaného také jako digestát. Jde o heterogenní suspenzi o celkové sušině pohybující se v rozmezí 5 – 12 % (Al Seady et al., 2013). Fermentační zbytek obsahuje relativně velké množství živin. Z tohoto důvodu je zpravidla využíván ve výživě rostlin, bývá aplikován na zemědělskou půdu. Tento přístup je v souladu s v dnešní době preferovanými myšlenkami cirkulární ekonomiky, kdy vedlejší produkty rostlinné i živočišné výroby jsou zpracovávány v BPS a zbytkový materiál (tedy právě fermentační zbytek) je navrácen do cyklu hmoty v zemědělských systémech. Na druhou stranu je však tento zavedený přístup k nakládání s fermentačním zbytkem spojen s řadou problémů.

V podstatě nejcennější živinou obsaženou ve fermentačním zbytku je dusík. Ten se v něm vyskytuje dominantně ve formě amoniakálního dusíku (N-amon). N-amon přitom zahrnuje dvě disociační formy, kterými jsou amonný kationt (NH_4^+) a nedisociovaný amoniak (NH_3). Distribuce těchto dvou forem je dána podmínkami prostředí, zejména hodnotou pH a teplotou. Jelikož je fermentační zbytek charakteristický mírně zásaditou hodnotou pH pohybující se obvykle v rozmezí mezi 7,5 a 8,5, je již za těchto podmínek zastoupení nedisociovaného NH_3 poměrně vysoké. Protože amoniak je těkavý, uniká z fermentačního zbytku do ovzduší (Whelan et al., 2010), což je nežádoucí jak z environmentálního, tak z ekonomického hlediska, neboť dochází ke ztrátě živiny. K únikům amoniaku dochází při skladování fermentačního zbytku i přímo při jeho aplikaci na půdu, resp. po této aplikaci

Problémy spojené s nakládáním s neseparovaným fermentačním zbytkem je možno řešit vhodným způsobem úpravy fermentačního zbytku. Přístupů k takové úpravě existuje celá řada, obvykle jsou ale po technické i ekonomické stránce velmi náročné (Al Seady et al., 2013, Míchal et al., 2017). Jako vcelku perspektivní se v tomto směru ale jeví metody založené na stripování amoniaku a na biologické nitrifikaci. Při stripování amoniaku je možno řízeným ovětráváním amoniaku a jeho následným zachycením v kyselém roztoku získat dusík v čisté podobě a zabránit tak jeho neřízenému úniku do ovzduší (Abba et al., 2023; Chen et al., 2025). Při nitrifikaci dochází k převedení N-amon na N-NO_3^- , který je z hlediska ztrát dusíku podstatně stabilnější, není těkavý. Zároveň ve fermentačním zbytku při nitrifikaci dochází k poklesu pH. Díky tomu mohou být ztráty dusíku minimalizovány i v případě, že část N-amon nepodlehne nitrifikaci.

Cílem tohoto příspěvku je presentovat prvotní výsledky výzkumu v oblasti zpracování neseparovaného fermentačního zbytku. Důraz je v rámci tohoto výzkumu kladen mimo jiné právě na využití stripování amoniaku a nitrifikace.

Experimentální část

Použitý fermentační zbytek

K experimentům byl využit fermentační zbytek z bioplynové stanice, která jako hlavní složky substrátu pro výrobu bioplynu využívá kukuřičnou siláž a hovězí kejdu, jako doplněk pak odpadní zbytky brambor a jiné zeleniny. Technologie provozu dané BPS je založena na systému dvou biologických reaktorů – fermentoru, kde probíhá vlastní proces anaerobní fermentace, a „dofermentoru“, kde dochází k dokončování rozkladných procesů.

Základní vlastnosti použitého fermentačního zbytku jsou shrnuty v tabulce 1.

Tabulka 1: Charakteristiky použitého fermentačního zbytku

N-amon (mg/l)	5 230
sušina (%)	7,37
org. sušina (% ze sušiny)	73,1
CHSK* (g/l)	33,3

* chemická spotřeba kyslíku

Laboratorní simulace stripování amoniaku

Za účelem simulace procesu stripování fermentačního zbytku byla zprovozněna stripovací kolona. (Stripování bylo realizováno v různých podmínkách, přičemž pozornost byla věnována studiu vlivu intenzity proudění vzduchu stripovací kolonou na rychlost procesu a jeho efektivitu. První experiment byl proveden s využitím vzduchovacího motorku HAILEA ACO-388D (příkon 70 W, průtok vzduchu 80 l/min) jako zdroje tlakového vzduchu. Následný test byl pak uskutečněn pomocí výkonnějšího přístroje HAILEA ACO-500D (příkon 175 W, průtok vzduchu 275 l/min). Průběh stripování byl hodnocen s využitím odběru vzorků zpracovávaného fermentačního zbytku ve vhodných časových intervalech. Ve vzorcích byla následně stanovena koncentrace N-amon. Přímo ve stripovací koloně byla v době odběru vzorku vždy měřena hodnota pH.

Laboratorní simulace nitrifikace

V laboratoři byl zároveň provozován nitrifikační reaktor zpracovávající fermentační zbytek. Pracovní objem reaktoru činil 5 l. Průtok fermentačního zbytku reaktorem byl kontinuální a pracoval na principu tzv. směšovací aktivace, resp. CSTR (Completely Stirred Tank Reactor) (Chudoba et al., 1991; Svehla et al., 2014). Vstupující surový fermentační zbytek byl ředěn vodovodní vodou v poměru 1 : 4. Ředění bylo realizováno za účelem prevence ucpávání hadiček transportujících fermentační zbytek. Další dvě peristaltická čerpadla do reaktoru přiváděla roztok NaOH (100 g/l) a odpěňovač BASF Burst EP 8100. Hodnota pH byla udržována v oblasti $6,0 \pm 0,1$, přičemž za tímto účelem byl do reaktoru dávkován zmíněný roztok NaOH. Reaktor byl provzdušňován s využitím vzduchovacího motorku HAILEA ACO-328 (příkon 50 W, průtok vzduchu 70 l/min; koncentrace rozpuštěného kyslíku byla udržována na hodnotách přesahujících 4 mg/l). Při založení pokusu byl do celého objemu reaktoru přidán aktivovaný kal z proudu vratného kalu z městské čistírny odpadních vod, který sloužil jako inokulum. Za popsaných podmínek bylo zahájeno dávkování fermentačního zbytku do reaktoru, přičemž postup zahájení provozu reaktoru vycházel z přístupu popsaného v práci Michal et al. (2017).

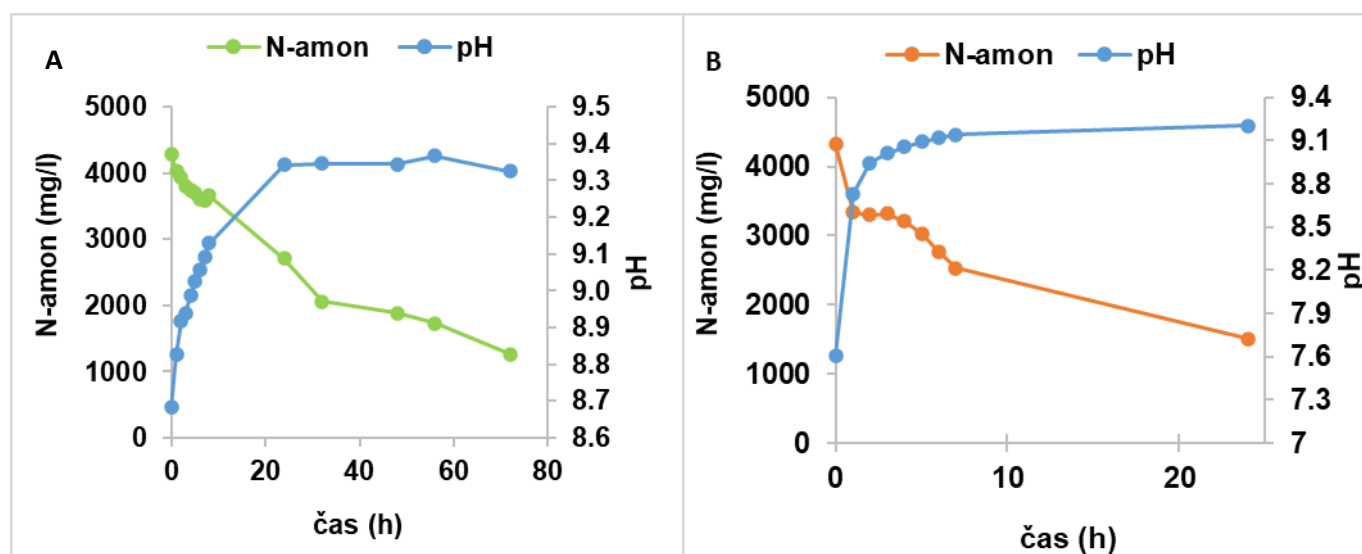
Analytické postupy

Veškeré rozborů vzorků surového fermentačního zbytku i fermentačního zbytku zpracovaného ve stripovací koloně, resp. v nitrifikačním reaktoru, (stanovení koncentrace jednotlivých forem dusíku, hodnota CHSK, obsah sušiny, resp. organické sušiny, atd.) byly podobně jako určování podmínek panujících v systémech zpracování fermentačního zbytku (stanovení hodnoty pH, koncentrace rozpuštěného kyslíku atd.) realizovány v souladu s postupy uvedenými v publikaci Horáková et al. (2003).

Výsledky a diskuse

Stripování amoniaku

Na obrázku 1A je zaznamenán průběh prvního experimentu zaměřeného na simulaci stripování amoniaku, který trval 72 hod. V původním fermentačním zbytku činil obsah N-amon 4 290 mg/l, přičemž na konci testu dosahovala jeho koncentrace 1 260 mg/l. Na počátku testu byla naměřena hodnota pH cca 8,7. V prvních hodinách stripování pH poměrně rychle narůstalo, přičemž od měření po 24 hodinách již vykazovalo v zásadě stabilní hodnotu pohybující se okolo 9,3. Výsledky druhého experimentu (obrázek 1B) naznačují, že zvýšení intenzity dávkování vzduchu do stripovací kolony urychluje proces. Již po sedmi hodinách byla koncentrace N-amon ve fermentačním zbytku snížena ze 4 320 mg/l na 2 530 mg/l, čímž byla dosažena 41% účinnost separace N-amon. Přitom při prvním experimentu taková účinnost nebyla zaznamenána ani po 24 hodinách. Také změny v hodnotě pH po zahájení procesu stripování byly podstatně rychlejší než v případě prvního experimentu. Již v průběhu první hodiny byl zaznamenán nárůst hodnoty pH z 7,6 na 8,7.

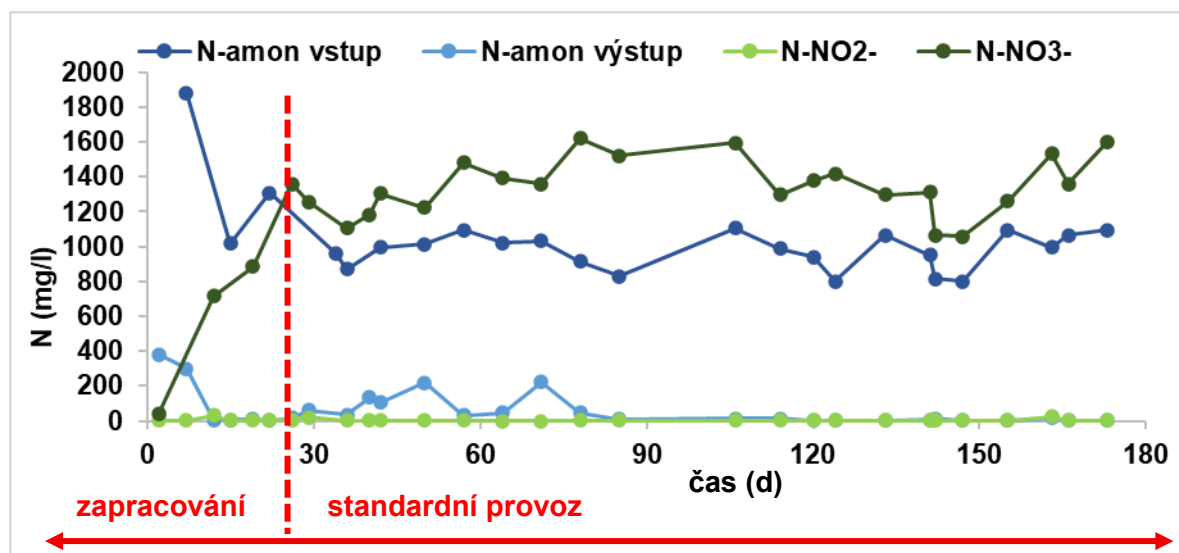


Obrázek 1: Průběh stripování v rámci prvního (2A) a druhého (2B) experimentu

Nitrifikace

Obrázek 3 shrnuje vývoj koncentrace základních forem dusíku v nitrifikačním reaktoru v řešeném období jeho provozu. Obsah N-amon ve fermentačním zbytku ředěném vodou (viz metodika experimentů) vstupujícím do reaktoru činil průměrně 1 030 mg/l. Hlavním konečným produktem nitrifikace byl od počátku provozu reaktoru N-NO₃⁻. Jeho koncentrace v odtoku z reaktoru se v první fázi zapracování reaktoru trvající v daných podmínkách 26 dnů postupně zvyšovala až na 1 360 mg/l. Následně se ve fázi standardního provozu reaktoru pohybovala mezi 1 060 a 1 620 s průměrnou hodnotou 1 350 mg/l.

Postupný nárůst odtokové koncentrace N-NO₃⁻ ve fázi zapracování byl způsoben zahájením dávkování ředěného fermentačního zbytku bohatého na N-amon a jeho transformací na N-NO₃⁻, který se v prostředí reaktoru hromadil až do ustálení stavu typického pro fázi standardního provozu reaktoru. Je možno konstatovat, že zapracování reaktoru proběhlo úspěšně, přičemž bylo potvrzeno, že podobně jako v případě zpracování fugátu je možno regulací podmínek v reaktoru docílit rychlý start procesu i přes extrémní podmínky panující v reaktoru (Míchal et al., 2017). Skutečnost, že odtoková koncentrace N-NO₃⁻ převyšuje ve fázi standardního provozu významným způsobem přítokovou koncentraci N-amon, je způsobena zejména odparem vody v intenzívně provzdušňovaném nitrifikačním reaktoru a s ním spojeným zahušťováním fermentačního zbytku. Tyto předpoklady byly i experimentálně ověřeny, intenzita přítoku byla vždy o cca 20 – 25 % vyšší než intenzita odtoku.



Obrázek 4: Koncentrace jednotlivých forem dusíku na vstupu a výstupu nitrifikačního reaktoru

Závěr

Fermentační zbytek představuje materiál dobře využitelný ve výživě rostlin. Na druhou stranu je nakládání s ním spojeno s řadou problémů a aktuálně používaný přístup k jeho využití není ani zdaleka optimální. Výzkum v oblasti stripování amoniaku z fermentačního zbytku a nitrifikace provozované v tomto materiálu naznačuje potenciál obou postupů ve smyslu jejich využití jako metod vedoucích k racionalizaci nakládání s fermentačním zbytkem. Zároveň je zřejmé, že oba tyto dílčí procesy je potřeba dále optimalizovat, přičemž jako zajímavá se jeví myšlenka jejich integrace do sekvence víceetapového zpracování diskutovaného materiálu.

Poděkování

Výsledky tohoto příspěvku byly získány v rámci aktivit spojených s řešením projektu TAČR č. SQ01020303. Autoři tímto děkují poskytovateli dotace za finanční podporu.

Literatura

- Abba, A., Domini, M., Baldi, M., Collivignarelli, M.C., Bertanza, G. Investigation of the Main Parameters Influencing the Kinetics of an Ammonia Stripping Plant Treating Swine Digestate. SUSTAINABILITY (2023). 15 (13). 10494. DOI10.3390/su151310494.
- Al Seadi T., Drosch B., Fuchs W., Rutz D., Janssen R.: The Biogas Handbook - Science, Production and Applications. Chapter 12 – Biogas digestate quality and utilization. Woodhead Publishing Limited (2013).
- Chen, Q.H., Yang, D.H., Chen, X., Wang, X. K., Dong, B., Dai, X.H. Vacuum ammonia stripping from liquid digestate: Effects of pH, alkalinity, temperature, negative pressure and process optimization. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES. (2025) 149. 638-650. DOI10.1016/j.jes.2024.03.010
- Chudoba J., Dohányos M., Wanner J.: Biologické čištění odpadních vod, SNTL Praha (1991).
- Dohányos M., Zábranská J., Jeníček P., Fialka P., Kajan M. (1998): Anaerobní čistírenské technologie. NOEL 2000, Brno.
- Horáková M. a kolektiv: Analytika vody. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (2003).
- Míchal, P., Švehla, P., Tlustoš, P. (2017). Zpracování kapalně frakce fermentačního zbytku biologickou nitrifikací a tepelným zahuštěním. Waste Forum. 10. 299-309.
- Straka F. a kolektiv (2003): Bioplyn. Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS s.r.o. Říčany.

- Svehla, P., Bartacek, J., Pacek, L., Hrnčířová, H., Radechovský, J., Hanc, A., Jeníček, P. Inhibition effect of free ammonia and free nitrous acid on nitrite-oxidising bacteria during sludge liquor treatment: Influence of feeding strategy, Chem. Pap. 68 (2014) 871–878.
- Whelan, M.J., Everitt, T., Villa, R., 2010. A mass transfer model of ammonia volatilisation from anaerobic digestate. Waste Manage. 30, 1808–1812.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.08.012>.