

Kultivační jednotka pro inokulaci nitrifikačního reaktoru zpracovávajícího fugát

Funkční vzorek

Ing. Pavel Švehla, Ph.D. – ČZU v Praze, KAVR

Ing. Pavel Míchal, Ph.D. – ČZU v Praze, KAVR

prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr.h.c. – ČZU v Praze, KAVR

Ing. Jan Procházka, Ph.D. – Agro Podlesí, a.s.

Miroslav Liberský – Agro Podlesí, a.s.

1. Úvod

Hlavní motivací pro výstavbu a provoz zemědělských bioplynových stanic (BPS) je výroba elektrické energie z bioplynu vznikajícího anaerobním biologickým rozkladem vedlejších produktů zemědělské činnosti, které jsou organické povahy. Vedle bioplynu je dalším produktem činnosti BPS vodní suspenze hmoty, která již prošla anaerobním rozkladným procesem. Jedná se o kapalný materiál se sušinou obvykle do 10 %, který bývá označován jako digestát, respektive fermentační zbytek. Fermentační zbytek je v objektech řady BPS provozovaných na území ČR separován na dvě fáze, pevný separát se sušinou cca 20 – 30 % a kapalnou frakci – tzv. fugát. Fugát obsahuje relativně velké množství živin. Koncentrace amoniakálního dusíku (N-amon) ve fugátu může dosahovat 5 – 15 % sušiny, respektive 1 až 6 g/l. Relativně vysoký je ve fugátu i obsah draslíku, hořčíku a vápníku i fosforu. Proto je současnou běžnou praxí nakládání s fugátem jeho aplikace na zemědělskou půdu.

N-amon se vyskytuje ve dvou disociačních formách, kterými jsou amonný kationt (NH_4^+) a nedisociovaný amoniak (NH_3). Distribuce těchto forem je dána fyzikálně-chemickými podmínkami, přičemž zásadní význam má v tomto ohledu zejména hodnota pH a teplota. Zastoupení nedisociovaného NH_3 ve fugátu činí cca 4 – 20 %. Těkavý NH_3 při skladování fugátu i přímo během jeho aplikace na půdu může unikat do ovzduší, což je nežádoucí jak z environmentálního, tak z ekonomického hlediska, neboť dochází ke ztrátě dusíku jako cenné živiny. Navíc, relativně malý podíl sušiny ve velkém objemu balastní vody výrazně navyšuje náklady na přepravu a následnou aplikaci, což je spojeno i se zvýšeným rizikem zhutnění půdy častým pojezdem aplikační techniky.

Jednou z možností zpracování fugátu, která může minimalizovat ztráty dusíku při skladování fugátu a při jeho aplikaci na půdu, je využití procesu nitrifikace. Nitrifikace je biologický proces probíhající přirozeně ve vodě i v jiných složkách životního prostředí, například v půdě. Je využívána také při biologickém čištění odpadních vod, přičemž je součástí procesů vedoucích k odstranění dusíkatého znečištění. Skládá se ze dvou kroků a podílejí se na ní dvě nezávislé skupiny nitrifikačních bakterií. N-amon je nejprve oxidován na dusitanový dusík (N-NO_2^-) činností nitritačních organismů (ammonium oxidizing bacteria - AOB) rodů *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus* a dalších. Následně je N-NO_2^- převáděn na dusičnanový dusík (N-NO_3^-) v rámci činnosti nitratačních organismů (nitrite oxidizing bacteria - NOB) rodů *Nitrobacter*, *Nitrospira* a dalších.

Oxidovaný dusík ve formě N-NO_3^- či N-NO_2^- není na rozdíl od amoniaku těkavý a z tohoto hlediska je možno ho považovat za „stabilní“ formu bezpečnou z pohledu ztrát dusíku při skladování fugátu a jeho aplikaci na zemědělskou půdu. Z hlediska potenciálního provozu systému pro nitrifikaci fugátu za účelem minimalizace ztrát dusíku je zásadní také fakt, že v první (nitritační) fázi procesu nitrifikace je uvolňován iont H^+ . Tato skutečnost vede při nitrifikaci ve vodním prostředí obsahujícím extrémně vysoké koncentrace N-amon při relativně nízké hodnotě kyselinové neutralizační kapacity (což jsou typické vlastnosti fugátu) k poklesu hodnoty pH. Díky tomu může nitrifikace ztráty dusíku při manipulaci s fugátem snížit i v případě, že zdaleka ne veškerý N-amon obsažený původně ve fugátu je převeden na oxidované formy. Pokles pH vyvolaný průběhem nitrifikačního procesu totiž vede k radikálnímu snížení zastoupení těkavého NH_3 , který přechází na netěkavý NH_4^+ .

Zpracování fugátu nitrifikací může být velice dobře využito také jako předstupeň pro jeho tepelné zahuštění realizované za účelem minimalizace nákladů při manipulaci s fugátem.

Abychom při tepelném zahušťování zamezili unikům amoniaku do destilátu, je nutné nejprve upravit hodnotu pH fugátu do mírně kyselé oblasti ($\leq 6,0$). Nejjednodušší metodou, jak tohoto cíle dosáhnout, je dávkování minerální kyseliny. Nevýhodou tohoto přístupu je vysoká spotřeba chemikálií a z ní plynoucí rostoucí provozní náklady. Problémem může být i okyselování půdy po dlouhodobé aplikaci takto upraveného fugátu. Nabízí se však možnost „stabilizace“ dusíku vedoucí k jeho udržení v tepelně zahuštěném produktu právě s využitím nitrifikace, která jednak převede N-amon, resp. jeho významnou část, na netěkavé oxidované formy dusíku a jednak vede k poklesu pH.

V laboratorních či poloprovozních podmínkách je možno při zahájení provozu systému pracujícího na principu nitrifikace fugátu použít jako zdroj nitrifikačních organismů (inokulum) aktivovaný kal odebraný v biologickém stupni čištění na jakémkoliv městské čistírně odpadních vod využívající za účelem odstranění sloučenin dusíku proces nitrifikace. Tímto kalem je možno naplnit celý objem nitrifikačního reaktoru (popřípadě jeho podstatnou část) a následně zahájit kontinuální dávkování fugátu při vhodném zatížení systému dusíkem. Tento postup však není vhodný pro iniciaci procesu nitrifikace fugátu v plně provozních podmínkách, tedy ve velkokapacitním reaktoru, ve kterém by mělo být možno zpracovat veškerou produkci fugátu vznikajícího v objektu dané BPS. Problém představuje zejména potřeba velkého množství kalu, který by sloužil jako zdroj inokula, dosahující v závislosti na místních podmínkách desítky až stovky m^3 . Další komplikací je způsob nakládání s odtokem z nitrifikačního reaktoru. Při zapracování reaktoru z něj poměrně dlouho (několik desítek dnů až několik měsíců) odchází nitrifikovaný fugát, který je v poměrně vysokém poměru zředěn aktivovaným kalem použitým jako inokulum. Nakládání s takovým materiálem je přitom velmi problematické, obsah živin je z pohledu aplikace na půdu nízký. Existuje i riziko obsahu nejrozumnějších kontaminantů včetně patogenních mikroorganismů.

Transformace procesu nitrifikace fugátu do provozních podmínek panujících v objektech reálných zemědělských bioplynových stanic nebyla dosud vyřešena a je tedy potřeba identifikovat postupy pro aplikaci nitrifikace jakožto metody zpracování fugátu v provozním měřítku.

2. Inokulace provozního reaktoru pro nitrifikaci fugátu pomocí speciální kultivační jednotky

Jako perspektivní postup pro bezproblémové zahájení provozu velkokapacitního nitrifikačního reaktoru v provozním měřítku, který může eliminovat výše popsané problémy, je strategie kdy se před vlastním uvedením velkokapacitního nitrifikačního reaktoru do provozu v areálu řešené bioplynové stanice umístí kultivační jednotka relativně malého objemu, ve které se nakultivuje nitrifikační biomasa. Ta následně poslouží k inokulaci celého objemu velkokapacitního nitrifikačního reaktoru. Substrátem, který slouží ke kultivaci nitrifikační biomasy v jednotce je přitom fugát, který bude následně zpracováván ve velkokapacitním nitrifikačním reaktoru.

Kultivační jednotka umožňuje bezproblémové zahájení provozu nitrifikačního reaktoru pro zpracování veškeré produkce fugátu či její požadované části. Před vlastním uvedením nitrifikačního reaktoru do provozu se jednotka umístí v areálu řešené bioplynové stanice. Zařízení je mobilní, je schopno iniciovat proces postupně v areálech různých bioplynových stanic. Poté, co proběhne zapracování reaktoru v rámci dané bioplynové stanice, je tedy možno kultivační jednotku transportovat do objektu jiné bioplynové stanice a tam zahájit zapracování dalšího velkokapacitního nitrifikačního reaktoru. Kultivační jednotka přináší možnost realizovat zdlouhavou kultivaci vhodné nitrifikační kultury ve velice malém objemu a navíc

zcela mimo vlastní systém, který bude sloužit v provozních podmínkách jako velkokapacitní nitrifikační reaktor pro zpracování veškeré produkce fugátu či její požadované části.

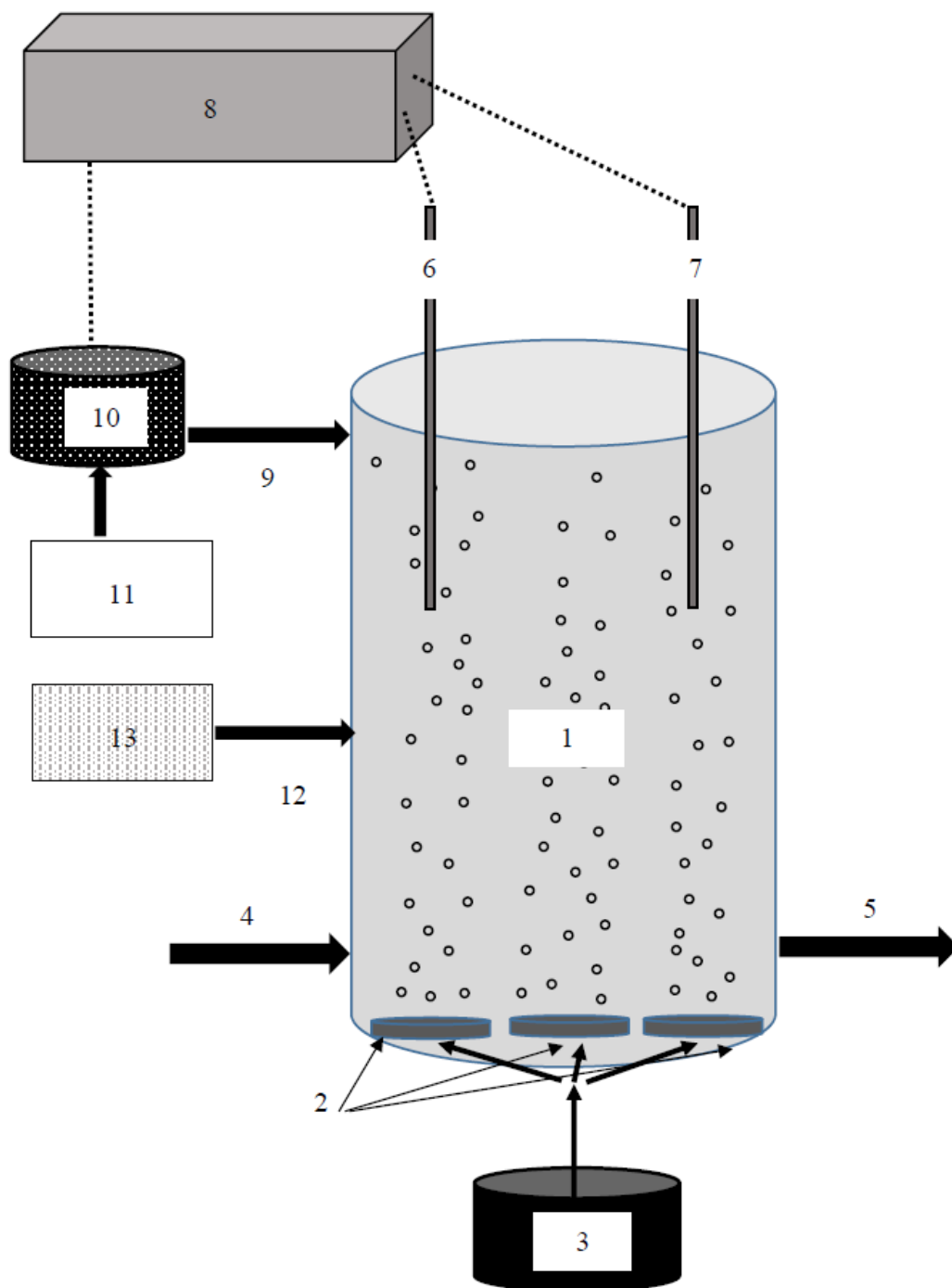
Optimální parametry v kultivační jednotce (cílové zatížení zařízení dusíkem, provozní hodnota pH atd.) je za účelem minimalizace doby provozu jednotky vhodné určit v rámci laboratorní simulace procesu. Zpracování nitrifikace v kultivační jednotce může probíhat paralelně s výstavbou provozního reaktoru v areálu dané bioplynové stanice. Tím se eliminují časové prodlevy spojené s iniciací procesu. Instalace zařízení v objektu zemědělské bioplynové stanice umožní rychlé zpracování velkoobjemového nitrifikačního reaktoru schopného zpracovat veškerou produkci fugátu v rámci dané bioplynové stanice, popřípadě její požadovanou část.

3. Technické parametry kultivační jednotky

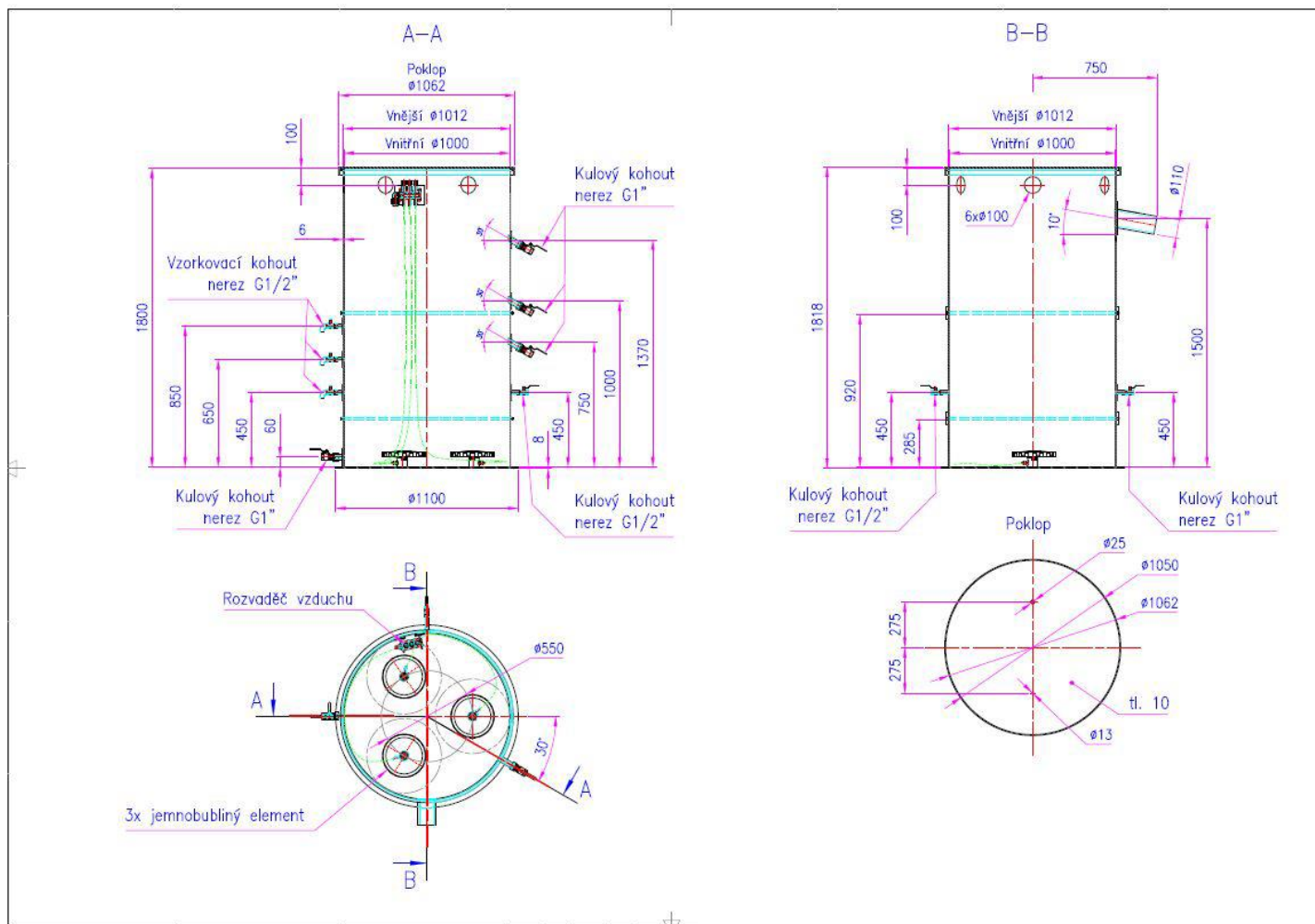
Kultivační jednotka obsahuje plastovou nádrž tvaru válce, jejíž pracovní objem může činit 0,5 – 1 m³. Tato nádrž slouží jako vlastní biologický reaktor a je osazena třemi aeračními elementy připojenými ke zdroji tlakového vzduchu (dmychadla Secoh JDK-S-500; Secoh, Japonsko). Aerační elementy slouží k dodávce kyslíku nezbytného k uspokojivému průběhu aerobního procesu nitrifikace. Homogenizace biomasy v nádrži zařízení a potřebný kontakt v něm obsaženého N-amon s nitrifikační biomasou je také zajištěn provzdušňováním. Systém pracuje na principu chemostatu, tedy bez recirkulace nitrifikační biomasy. Je potřeba počítat s rizikem zvýšené tvorby pěny při provzdušňování substrátu v nádrži zařízení. Proto kultivační jednotka obsahuje vstup pro odpěňovač, připojený k zásobníku pro odpěňovač. Součástí jednotky je měřicí a regulační systém GRYF XBP (GRYF HB, spol. s r.o., ČR) sloužící ke sledování hodnoty pH a koncentrace rozpuštěného kyslíku, popřípadě i k regulaci těchto parametrů. Tento systém je propojen se sondami pro stanovení pH a koncentrace kyslíku a s čerpadlem sloužícím k dávkování 40 % roztoku NaOH za účelem regulace pH v jednotce. Pro transport fugátu a dalších tekutin v rámci kultivační jednotky jsou využita peristaltická čerpadla typové řady PCD (Kouřil - dávkovací čerpadla, ČR).

Kultivační jednotka je vybavena odběrovými místy umožňujícími získávání vzorků. Součástí jednotky jsou také výstupy umožňující vstup surového fugátu a odvod nitrifikovaného fugátu sloužícího jako zdroj nitrifikační biomasy pro inokulaci velkokapacitního nitrifikačního reaktoru zpracovávajícího fugát. Tyto výstupy mohou sloužit také k dávkování různých roztoků sloužících k optimalizaci průběhu procesu vedoucího ke tvorbě nitrifikační biomasy (zejména výše zmíněné roztoky NaOH a odpěňovače). Pracovní objem reaktoru je s využitím zmíněných výstupů pro odvod nitrifikační biomasy možno udržovat na hodnotách 0,50; 0,75 nebo 1,0 m³.

Základní schéma kultivační jednotky je zobrazeno na obrázku 1. Z tohoto obrázku je zřejmé i napojení vlastního biologického reaktoru na další zařízení, která jsou součástí kultivační jednotky. Detailní náčrt vlastního biologického reaktoru, který je základem kultivační jednotky, je k dispozici na obrázku 2, fotografie reaktoru pak na obrázku 3.



Obrázek 1: Kultivační jednotka pro inokulaci nitrifikačního reaktoru zpracovávajícího fugát (1 – vlastní nádrž sloužící jako biologický reaktor, 2 – aerační elementy, 3 – dmychadlo, 4 – vstup pro fugát, 5 – odtok (nitrifikovaný fugát – zdroj nitrifikační biomasy), 6 – sonda pro měření pH, 7 – sonda pro měření koncentrace O_2 , 8 – měřicí a regulační systém GRYF XBP, 9 – vstup pro pH regulační činidlo, 10 – čerpadlo, 11 – zásobník pro pH regulační činidlo, 12 – vstup pro odpěňovač, 13 – zásobník pro odpěňovač)



Obrázek 2: Detailní nákres biologického reaktoru kultivační jednotky



Obrázek 3: Fotografie kultivační jednotky

4. Uplatnění funkčního vzorku

Zařízení, které je předmětem řešeného funkčního vzorku, může být i v případě, že nebude následovat jeho sériová výroba, využito při uvádění do provozu velkokapacitních nitrifikačních reaktorů sloužících ke zpracování fugátu produkovaného v rámci provozu zemědělských bioplynových stanic. Mobilní řešení jednotky umožňuje její opakované využití. Po úspěšném zapracování velkokapacitního reaktoru může být zařízení přemístěno do areálu další bioplynové stanice, kde může sloužit k inokulaci dalšího velkokapacitního reaktoru. Kultivační jednotka pracuje s malými nároky na množství aktivovaného kalu z čistírny odpadní vody potřebného pro inokulaci, což představuje podstatnou výhodu ve srovnání s jinými metodami inokulace velkokapacitního reaktoru pro nitrifikaci fugátu. Nitrifikační biomasu získanou v rámci provozu kultivační jednotky v objektu určité BPS je možno využít následně při potenciální instalaci kultivační jednotky na jiné BPS, což významně urychlí zapracování systému.

Poděkování

Kultivační jednotka pro inokulaci nitrifikačního reaktoru zpracovávajícího fugát byla zkonstruována v průběhu řešení projektu nazvaného „Dvoustupňová úprava kapalné frakce fermentačního zbytku umožňující racionální využití živin a vody“ řešeného pod číslem QK1710176 v rámci NAZV MZe. Autoři tohoto textu děkují poskytovateli dotace za finanční podporu výzkumu.

Příloha – smlouva o uplatnění funkčního vzorku