

Optimalizace stabilizace čistírenských kalů pomocí hydrolytických enzymů: Případová studie

Vincent Pelenc, Jörg P. Euler, Jörg Schumann, Matthias Gerhardt, Jan Štambaský

Abstrakt

Za účelem zvýšení efektivity rozkladu čistírenských kalů byl do anaerobního stupně stabilizace kalu v čistírně odpadních vod (ČOV) Rüsselsheim-Raunheim v Německé spolkové republice aplikován komplex hydrolytických enzymů. Výsledky byly srovnávány s ultrazvukovou metodou desintegrace kalu. Každodenním přidavkem enzymového preparátu bylo dosaženo výrazného zvýšení produkce bioplynu o 9,5%, snížení množství stabilizovaného kalu o 15% a snížení spotřeby flokulantu o 18%. Aplikace enzymového přípravku byla vyhodnocena jako efektivnější metoda pro stabilizaci kalu jak po technické tak i ekonomické stránce.

Úvod

S rostoucími cenami energie a rostoucími náklady na likvidaci stabilizovaného kalu se prostředky pro desintegraci kalů vrátily zpět do popředí zájmu. Mezi ně patří i biologické postupy, zvláště pak přidávání enzymových přípravků do vyhnívacích nádrží pro zvýšení stupně rozkladu bakteriální biomasy a extracelulárních polysacharidů.

Enzymy jsou přírodní látky, které hrají klíčovou roli biokatalyzátorů v látkové výměně zvířat, rostlin a mikroorganismů. Ve vyhnívacím stupni ČOV jsou polysacharidy a další vysokomolekulární organické látky štěpeny pomocí enzymů syntetizovaných přítomnými mikroorganismy. Množství takto přirozeně existujících enzymů je v praxi limitujícím faktorem pro optimální růst a množení anaerobních mikroorganismů. Je nasnadě zlepšit mikrobiální aktivitu vyhnívacího stupně přidavkem externě produkovaných hydrolytických enzymů.

Již v první polovině 20. století bylo zjištěno, že přidavek enzymů intenzifikuje anaerobní rozklad v ČOV (Rudolf, [1]). Ačkoliv byla známa vysoká účinnost hydrolytických enzymů, v praxi se jen stěží uplatňovaly. Příčinou byly bezesporu obtíže spojené s tvorbou přesné látkové bilance vyhnívacího stupně, bez které nebylo možné určit efekt enzymů. Tyto

technické bariéry byly překonány až v současné době, díky moderní technice řízení a regulace, spolu s počítačovou analýzou naměřených dat.

Burbaum *et al.* [2] ve svých provozních pokusech prokázal, jak přidavkem hydrolytických enzymů v komunálních ČOV značně narůstá stupeň rozkladu organické sušiny stejně jako výtěžnost kalového plynu.

Také laboratorní výzkum Reipa a Schmelze [3] jasně prokázal výrazné zvýšení výtěžnosti kalového plynu při použití enzymů. Přenositelnost těchto výsledků do provozního měřítko je ovšem těžko předvídatelná.

Cíle výzkumu

Za účelem zvýšení výtěžnosti kalového plynu a snížení množství stabilizovaného kalu bylo na ČOV Rüsselsheim/Raunheim v roce 2001 instalováno zařízení pro ultrazvukovou desintegraci kalu o výkonu 10 kW. Toto ultrazvukové zařízení zvýšilo rozklad sušiny z 22% na 34%. Pro vysoké provozní náklady a nákladnou údržbu ultrazvukového zařízení se provozovatel rozhodl pro pokusné provozní nasazení hydrolytického enzymového přípravku. Cílem provozního pokusu bylo určit a porovnat účinnost biologické a mechanické metody.

Popis zařízení a podmínek provozního pokusu

Čistírna odpadních vod Rüsselsheim/Raunheim s instalovaným výkonem 98 500 ekvivalentních obyvatel zpracovává v první řadě komunální odpadní vody, v malé míře pak průmyslové odpadní vody. Dvě vyhnívací nádrže, uspořádané v řadě, mají objem 2 000 m³ a 3 300 m³. Na přítoku dosahuje hodnota CHSK 590 mg/L. Odvodnění kalu je zajištěno membránovou filtrací s komorou o objemu 5,5 m³. Stabilizovaný kal je částečně využíván na zemědělských plochách a částečně spalován. Kalový plyn je zhodnocován ve třech kogeneračních jednotkách s instalovaným výkonem $3 \times 266 \text{ kW}_{\text{el}}$.

Pro provozní pokus byl vybrán přípravek obsahující komplex celulázových enzymů z mikroorganismu *Trichoderma reesei* (DSM-10683) ve výrobku MethaPlus[®] L 120 speciálně vyvinutém pro použití v čistírnách odpadních vod. Mezi hlavní skupiny enzymů tohoto výrobku patří především celulóza, β -glukanáza a xylanáza. Dále pak výrobek vykazuje celou řadu dalších vedlejších skupin enzymů jako je chitináza, pektináza, α -amyláza, galaktosidáza a proteáza.

Provozní pokus

Hodnoty produkce kalového plynu, rozklad organické hmoty a odvodnění stabilizovaného kalu byly porovnány ve dvou časových obdobích.

Referenční doba s ultrazvukovou metodou trvala devět měsíců od května 2005 do ledna 2006. V tomto časovém období bylo vyhánění přiváděného přebytečného kalu v dílčím proudu (30%) upravováno ultrazvukem.

Ve druhém období od května 2006 do ledna 2007 bylo do nátoky vyháněcích nádrží dávkováno 480 g enzymového přípravku na každou tunu vstupující organické sušiny. Zpracování ultrazvukem bylo v té době zastaveno. Všechna provozní data byla pravidelně zaznamenávána v provozním denníku.

Výsledky

Porovnatelnost obou period

Provozní parametry anaerobní digescce byly porovnány v obou časových obdobích. Obsah sušiny a organické sušiny v nátoky byl nepatrně nižší v období s ultrazvukem (sušina ultrazvuk: 47,0 kg/m³; sušina enzym: 51,5 kg/m³). Doba zdržení byla v období s ultrazvukem mírně delší (ultrazvuk: 61,2 dne; enzym: 58,5 dne). Celkově lze říci, že provozní podmínky byly v obou sledovaných obdobích dobře srovnatelné. Můžeme jednoznačně konstatovat, že pozorované rozdíly byly odvozeny od rozdílů zkoumaných postupů.

Produkce kalového plynu

Přepočtená měsíční specifická množství kalového plynu v obou obdobích byla statisticky porovnána (Tabulka 1).

Tabulka 1. Navýšení specifické produkce kalového plynu

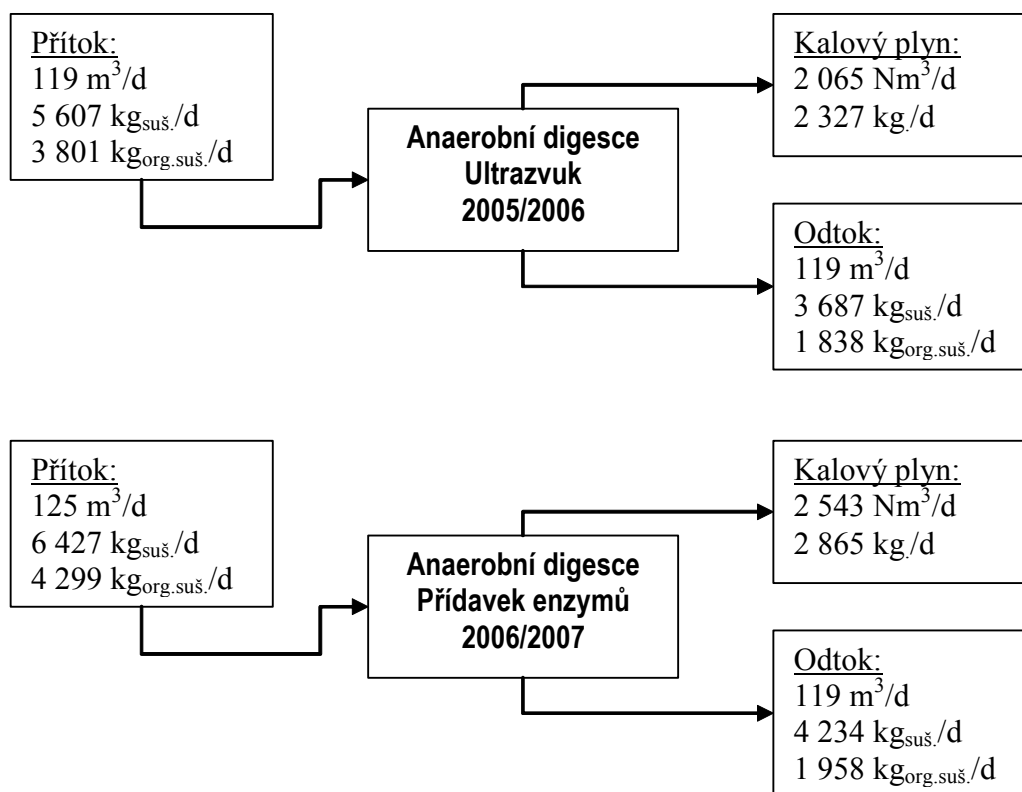
Vstup	Jednotka	Ultrazvuk	Enzym
Specifická produkce plynu	m ³ _{norm.} /t	544	596
Nárůst absolutní	m ³ _{norm.} /t	-	52
Nárůst relativní	%	-	9,5
Počet hodnot	-	9	9
Směrodatná odchylka	m ³ _{norm.} /t	40	62
Interval spolehlivosti (P=0,95)	-		52

Produkce kalového plynu v období přidávání enzymu byla o 9,5% vyšší než v období s desintegrací ultrazvukem. Tento nárůst byl při porovnání měsíčních hodnot statisticky významný.

Rozklad sušiny a organické sušiny: materiálové toky v zařízení

Na obrázku 1 jsou znázorněny materiálové toky v provozu anaerobní digesce během obou zkoumaných období. Zobrazeny jsou i příslušné hodnoty.

Obrázek 1: Materiálové toky v provozu AD



Z těchto materiálových toků byly vypočteny hodnoty rozkladu sušiny a organické sušiny (Tabulka 2). Stupeň rozložení sušiny byl v obou případech prakticky stejný. Obě tyto hodnoty byly ve srovnání s předcházejícími lety (bez použití desintegračních metod úpravy kalu) výrazně vyšší. Rozklad organické sušiny při enzymovém zpracování vykázal hodnoty o 6% vyšší než při zpracování ultrazvukem.

Tabulka 2. Rozklad sušiny a org. sušiny

Vstup	Jednotka	Ultrazvuk	Enzym
Rozklad sušiny	kg/d	1 920	2 193
Rozklad organické sušiny	kg/d	1 963	2 341
Stupeň rozložení sušiny	%	34,2	34,1
Stupeň rozložení org. sušiny	%	51,6%	54,5

Odvodnění stabilizovaného kalu

Na základě procesních dat ČOV byla porovnána množství vyprodukovaného stabilizovaného kalu v obou sledovaných obdobích, a porovnána s celkovým vstupem sušiny do vyhnívacích nádrží. Výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 3).

Tabulka 3. Produkce stabilizovaného kalu

Vstup	Jednotka	Ultrazvuk	Enzym
Vstup sušiny	t/d	5,60	6,40
Stabilizovaný kal	t/d	13,80	13,50
Poměr stab. kal/sušina	t/t	2,47	2,10
Úspora stab. kalu	%	-	15%

Ve sledovaném období ultrazvukové desintegrace kalu bylo vyprodukováno 2,47 t stabilizovaného kalu na každou tunu sušiny vstupující do vyhnívacích nádrží. V období přidávání enzymu došlo ke snížení poměru na hodnotu 2,10 což odpovídá úsporám ve výši 15%. Tento efekt je vysvětlen především podstatným nárůstem obsahu sušiny ve stabilizovaném kalu z 27,2% na 30,0% v období během přidávání enzymu.

Dále byla porovnána spotřeba flokulantu. V období aplikace ultrazvuku byla spotřeba flokulantu 7,6 kg/ kg sušiny. V období aplikace enzymu byla spotřeba flokulantu redukována o 18% na 6,2 kg/ kg sušiny. Na základě měsíčních dat bylo toto zjištění vyhodnoceno jako velmi podstatné.

Diskuze a závěry

Výsledky této studie potvrzují zlepšení procesu anaerobní digesce pomocí hydrolytických enzymů zjištěná Burbaumem *et al.* Také potvrdily dosažení zvýšeného stupně rozkladu sušiny a organické sušiny požadované provozovatelem zařízení. V souhrnu lze říci, že nasazení enzymového preparátu překonalo dosavadní mechanickou metodu.

Čistírna odpadních vod Rüsselsheim/Raunheim musí ročně likvidovat cca. 5 200 t stabilizovaného kalu. Pomocí přídatku enzymů může být uspořeno až 780 t, což představuje

výrazně pozitivní ekonomický efekt pro celý provoz. Náklady na přidávání enzymu byly zcela pokryty již zvýšenou produkcí kalového plynu.

Tento výzkum prokázal, že tak často diskutovaná aplikace enzymů v anaerobní digesti přináší statisticky potvrzené a reprodukovatelné pozitivní výsledky. Předpokladem je použití účinných enzymových preparátů a pečlivé bilancování materiálových toků v zařízení pro vyhodnocení výsledků.

V porovnání s konvenčními metodami desintegrace čistírenských kalů se aplikace hydrolytických enzymů vyznačuje minimálními investičními náklady a vysokou flexibilitou použití.

Celkové změny podmínek hospodářství, stejně jako nezbytnost zlepšení využití obnovitelných zdrojů energie, jsou pro každého provozovatele důvodem optimalizovat procesy v čistírnách odpadních vod za pomoci nových metod. Použití hydrolytických enzymových preparátů představuje technicky a ekonomicky vhodnou volbu.



Obrázek 2: Použití hydrolytických enzymů ve vyhnívacím stupni: příspěvek k redukci emisí CO₂

Literatura

- [1] *Rudolf, W.*: Enzymes and sludge digestion, *Sewage Works J.* **4** (1932) 782-789.
- [2] *Burbaum, H.; Dickmann, T.; Kéry, K.; Pascik, I.; Rademacher, H.*: Biokatalytische Verbesserung der Klärschlammfäulung durch Enzyme, *KA* **8/2002**, 1110-1119.
- [3] *Reipa, A.; Schmelz, K.-G.*: Verbesserte Schlammfäulung durch Zugabe verschiedener Enzympräparate, *KA* **6/2003**, 774-783.

Autoři

Dipl. Ing. Vincent Pelenc, Dipl. Ing. agr. Jörg P. Euler, Dr. Ing. Matthias Gerhardt, Biopract BmbH, Magnusstraße 11, D-12489 Berlin

Dipl. Ing. chem. Jörg Schumann, Abwasserverband Rüsselsheim/Raunheim, Zentralkläranlage Rugbyring 152, D-65428 Rüsselsheim

Ing. Jan Štambaský, Ph.D., NovaEnergo s.r.o., CZ-15000 Praha 5