

APARATURA PRO VOLUMETRICKÉ SLEDOVÁNÍ ANAEROBNÍHO ROZKLADU ORGANICKÝCH LÁTEK

JOSEF HRNČIŘÍK, JAN KLÍMA a JAN KUPEC

Katedra technologie životního prostředí a chemie, Fakulta technologická, Vysoké učení technické, nám. TGM 275, 762 72 Zlín

Došlo dne 14.I.1997

Úvod

Anaerobní postupy zpracování vhodných substrátů v optimálním provozním uspořádání budou v blízké budoucnosti konkurovat aerobním procesům, případně je výhodně doplňovat. Protože se navíc dostávají do popředí energeticky nenáročné technologie, lze očekávat zejména rozvoj anaerobních procesů.

Úspěšné řízení anaerobních technologií vyžaduje znalost průběhu anaerobního odbourávání komponent. Tyto informace jsou významné rovněž z ekologického hlediska, protože biodegradace probíhá v životním prostředí i bez přístupu kyslíku (např. v jezerních sedimentech, v půdě, ve spodních vrstvách skládek odpadů, v kalech aj.). Stále běžnější jsou požadavky na stanovení anaerobní rozložitelnosti různých, i obtížně rozložitelných materiálů obsahujících organické látky.

Anaerobní mikrobiální přeměna organických látek je složitý pochod skládající se z mnoha následných i souběžných dějů a reakcí s různými substráty využívanými heterogenní kulturou mikroorganismů. Popis dílčích reakcí aktivity jednotlivých mikroorganismů je velmi složitý. Často se anaerobní rozklad hodnotí rychlostí tvorby bioplynu, což je snazší než sledovat detailně koncentrace substrátů, meziproductů, biomasy atd. Složení uvolněného bioplynu se obvykle stanovuje analýzou odebraného vzorku metodou plynové chromatografie. Nejzajímavější složky vzhledem k možnostem využití či k charakterizaci procesu jsou CH_4 , CO_2 , příp. H_2 . Celkové množství vzniklých plynů se stanovuje: a) manometricky (měřením nárůstu tlaku v bioreaktoru při konstantním objemu plynné fáze), b) volumetricky (měřením objemu uvolněného plynu při konstantním tlaku).

Literární přehled

Podrobné literární rešerše anaerobního rozkladu organických látek byly prováděny již řadou autorů a objem literárních citací by byl i při uvedení pouze přehledových referátů rozsáhlý. Výběr jsme proto zúžili pouze na citace prací zaměřených blíže k tematice této práce, tj. sledování produkce bioplynu, obvyklá biomédia a testovací látky.

Základem jednoduché metody sledování anaerobního rozkladu autorů Valcke a Verstraete¹ je kvantifikace produkce methanu z posunu hladiny kapaliny v externím jímači plynu. Vznikající bioplyn prochází roztokem 1 M-NaOH, kde je zachycen CO_2 a objem CH_4 je měřen.

Metoda Sheltona a Tiedjeho² je založena na inkubaci testovacích látek v 10 % suspenzi anaerobního kalu v uzavřených sérových lahvích. Produkce plynu ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) byla měřena tlakovým snímačem, obsah methanu byl stanoven plynovou chromatografií. Touto metodou bylo testováno více než 100 chemikálií, z nichž 46 bylo označeno za anaerobně degradabilní (množství vyprodukovaného plynu > 75 % teoretické produkce).

Princip stanovení potenciální aktivity methanogenního kalu podle Dolfinga a Bloemena³ je založen na plynové chromatografické analýze methanu metodou „headspace“ v uzavřených testovacích lahvích. Jako testovací látky byly použity acetát sodný, propionát sodný a vodík. Vzorky plynu byly odebírány plynotěsnou stříkačkou, což umožňovalo jeho kvantifikaci nezávisle na tlaku v lahvích. Autoři také sledovali vliv různých parametrů - pH, substráty, koncentrace NaCl a NH_4Cl - na aktivitu methanogenního kalu.

Ke stanovení optimálního organického zatížení anaerobního reaktoru typu CUMAR (Crossflow Ultrafiltration Membrane Anaerobic Reactor) použili Ince⁴ et al. test specifické methanogenní aktivity (SMA), který roku 1991 navrhl Monteggia⁵. Aplikací uvedeného SMA testu se podařilo provoz reaktoru stabilizovat a dosáhnout výborných hodnot odstranění organického znečištění - přes 98 % CHSK a téměř 100 % BSK při vstupním zatížení 1 kg CHSK.m⁻³.d⁻¹.

James⁶ et al. popsali novou metodologii tzv. SMA testu. Pro měření produkce plynu použili modifikovaný Warburgův respirometr. Odečet na manometru byl přepočten na objem bioplynu s využitím rovnic a vztahů pro korekci na rozpustnost CO_2 a CH_4 (Umbreit et al. v⁶); k analýze bioplynu a obsahu těkavých kyselin byla použita plynová chromatografie.

Přehled vyvíjených metod jednotlivých autorů, využívaných testovacích procedur založených na tlakových snímačích pro měření tlaků plynu v utěsněných anaerobních lahvích, je popsán v rozsáhlé studii Collerana⁷ et al. Součástí této práce je také studie týkající se vývoje standardního referentního kalu pro testy anaerobní rozložitelnosti (lyofilizačně granulovaný kal).

Van Der Zee⁸ et al. popsali a porovnali několik v současnosti vyvíjených a modifikovaných testů (s využitím tlakového snímače s digitálním tlakovým indikátorem) pro hodnocení biorozkladu polymerů ve vodném prostředí. Testovacími materiály byly celulóza, PE-LD a polymery modifikované škrobem; produkovaný bioplyn byl analyzován plynovou chromatografií.

Jak vyplynulo z dostupných literárních zdrojů, začíná se v současné době k monitorování anaerobního rozkladu využívat převážně elektronických tlakoměrných čidel, často napojených na výpočetní techniku. Taková uspořádání vykazují vysokou citlivost a přesnost měření a navíc umožňují celý proces automatizovat; vyžadují však poměrně náročné přístrojové vybavení.

Lze tedy očekávat, že relativně jednoduché a levné volumetrické aparatury najdou v budoucnu uplatnění (pokud budou mít dostatečnou citlivost a spolehlivost); je proto vhodné věnovat pozornost jejich konstrukční a materiálové inovaci, což je náplní předložené práce.

Experimentální část

Aparatura

Aparatura pro sledování anaerobního rozkladu (obr. 1) se skládá ze dvou hlavních částí: a) 100 ml baňky, ve které probíhá vlastní biologický rozklad substrátu, b) 20 ml skleněné stříkačky s volně pohyblivým zabroušeným skleněným pístem, sloužící ke kvantifikaci produkovaného bioplynu.

Při návrhu tvaru testovací baňky byla kvůli potlačení vlivů změny tlaku, teploty a akumulace v plynné fázi snaha o minimalizaci velikosti parního prostoru. U navrženého uspořádání aparatury je hlavním problémem „utěsnění“ vyprodukovaného objemu plynu v systému. Zdrojem chyb mohou být difuzní úniky štěrbinou mezi jádrem a pláštěm zábrusu zátky baňky i mezerou mezi pístem a válcem stříkačky, případně uzavíracím septem pro odběr vzorků plynu. Proto byla v přípravných pracích věnována značná pozornost výběru materiálu plastových hadiček a vhodného dotěsnění pístu a zábrusu.

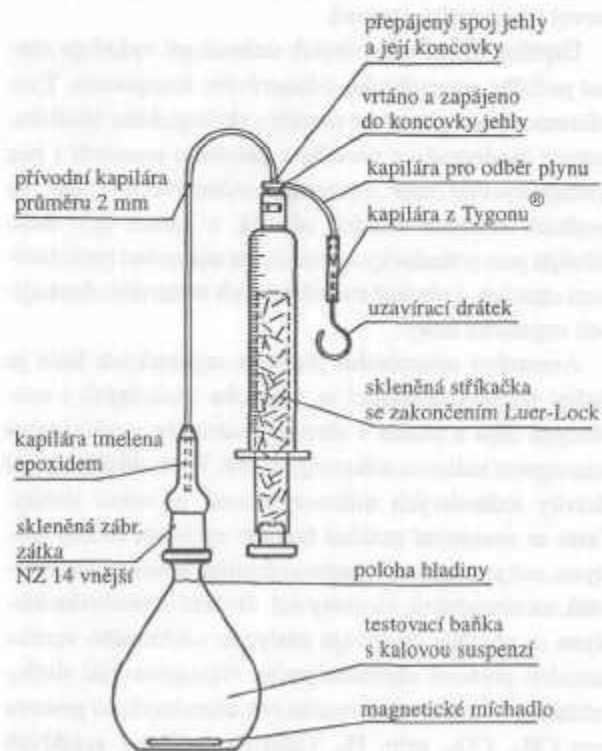
Biologický materiál

Ke stanovení rozkladu modelových substrátů v navrhované laboratorní aparatuře bylo jako inokula použito vyhnílého kalu z anaerobní stabilizace přebytečného aktivovaného kalu z čistírny odpadních vod ve Zlíně-Malenovicích.

Odebraný kal byl přefiltrován a protlačen přes 2 mm síto se silonovou tkaninou a přenesen do zásobní lahve s atmosférou CO₂. Hrdlo lahve bylo uzavřeno pryžovou zátkou s vodním uzávěrem. Kal byl skladován při teplotě 23-27 °C po dobu max. 8 týdnů; sušina zásobního kalu byla 27,4 g.l⁻¹.

Biologické medium

Roztok zabezpečující dostatek anorganických živin a stopových prvků i tlumič pH byl připraven podle receptů uvedených v normě ASTM D 5210-91 (cit. ⁹), běžně užívané ke sledování anaerobní rozložitelnosti.



Obr. 1. Aparatura pro volumetrické sledování anaerobního rozkladu

Substráty

Jako modelové substráty pro testování aparatury byly zvoleny methanol, kyselina octová a octan sodný. Methanol a kyselina octová byly navrženy jako jednoduché, snadno rozložitelné substráty, poskytující bioplyny dosti odlišného složení. Octan sodný byl použit se záměrem posoudit změnu ve složení uvolňovaného bioplynu vlivem možného vázání CO_2 při tvorbě NaHCO_3 z octanu.

Zásobní roztok methanolu

Diferenčním odvážením z injekční stříkačky byly 3 ml methanolu (hustota $0,79 \text{ g.ml}^{-1}$) dávkovány do 30 ml vody v odměrné baňce a doplněny destilovanou vodou na objem 100 ml. Roztok byl připraven až těsně před použitím, jeho koncentrace byla $23,7 \text{ mg.ml}^{-1}$.

Zásobní roztok kyseliny octové

Diferenčním odvážením z injekční stříkačky bylo 4,5 ml 99 % - kyseliny octové (hustota $1,06 \text{ g.ml}^{-1}$) dávkováno do 30 ml vody v odměrné baňce a doplněno destilovanou vodou na objem 200 ml. Koncentrace zásobního roztoku byla $23,61 \text{ mg.ml}^{-1}$.

Zásobní roztok octanu sodného

Diferenčním odvážením z injekční stříkačky bylo 4,5 ml 99 % - kyseliny octové (hustota $1,06 \text{ g.ml}^{-1}$) zředěno v kádince destilovanou vodou na pětinasobek. Postupnými přídávky 3 M-NaOH bylo upraveno pH na hodnotu $6,7 \pm 0,02$. Roztok byl kvantitativně převeden do odměrné baňky a doplněn destilovanou vodou na objem 200 ml. Koncentrace zásobního roztoku byla $23,61 \text{ mg.ml}^{-1}$ kyseliny octové. (Kyselina octová byla při daném pH a koncentraci roztoku zneutralizována z 98,9 %; jednalo se vlastně o octan sodný s obsahem 1,1 % volné kyseliny octové).

Přístroje a zařízení

Bylo použito běžného laboratorního vybavení domácí i zahraniční provenience.

Metodiky použitých pomocných stanovení

Stanovení celkové sušiny anaerobního kalu, neutralizační kapacity do pH 8,3 a stanovení CHSK dichromanem

draselným (CHSK_{Cr}) standardními metodami byla provedena dle literatury¹⁰.

Stanovení anaerobního rozkladu

Do 2,5 l zásobní lahve bylo pomocí CO_2 dávkovaného z tlakové lahve přetlačeno cca 2000 ml biologického média z 10 l zásobní lahve. Poté bylo stejným způsobem přidáno cca 200 ml zásobního kalu. Připravené očkovací médium bylo za promíchávání na magnetické míchačce (při teplotě 35°C a atmosferickém tlaku $\approx 98,7 \text{ kPa}$) nasyceno cca 10 litry směsi 37,5 % CO_2 + 62,5 % CH_4 dávkované z tlakové lahve.

Testovací baňka s magnetickým míchadlem byla naplněna CO_2 atmosférou (těžší než vzduch na rozdíl od bioplynu s 62,5 % CH_4) potom byl přidán 1 ml zásobního roztoku substrátu. Bioplynem o obsahu 62,5 % obj. CH_4 + 37,5 % CO_2 nasycené očkovací médium bylo touto plynou směsí dávkovaná z tlakové lahve přetlačeno ze zásobní lahve, ve které bylo syceno bioplynem, do testovací baňky. Následovala rychlá kompletace namazaných zábrusů obou částí aparatury - tj. naplnění testovací baňky a skleněné stříkačky s přívodní kapilárou. Zkompletovaná aparatura byla upevněna do roštu v temperační lázni $+35^\circ\text{C}$ a bylo zahájeno míchání kalové suspenze.

Množství vyprodukovaného bioplynu bylo v určitých časových intervalech odečítáno z polohy pístu stříkačky. Vzorky bioplynu k analýze složení byly odebírány dle potřeby pomocí skleněné odběrové stříkačky jehlou těsně procházející otvorem po vytažení uzavíracího drátku ze silnostěnné hadičky (hadička pro peristaltická čerpadla, měkčené PVC : TYGON®). Tato hadička uzavírala vzorkovací vývod na konci přívodní kapiláry do plynoměrné stříkačky (obr. 1).

Analýza vyprodukovaného bioplynu

Stanovení složení bioplynu v azotometru

Vzorek bioplynu z odběrové stříkačky byl převeden do azotometru, naplněného 50 % vodným roztokem KOH. Oxid uhličitý se v hydroxidu absorbuje a množství nepohlčeného plynu (předpokládá se, že jde prakticky pouze o methan) bylo odečteno na kalibrované stupnici azotometru. Vyhodnocení reprodukovatelnosti analýz uvádí tabulka I.

Tabulka I
Reprodukovatelnost analýzy plynu v azotometru^a

Složení směsi (skutečné)	Odečteno v azotometru [%]	Rel. odchylka [%]
100 % N ₂	98,58 ± 0,66	0,67
37,5 % CO ₂ + 62,5 % CH ₄	61,93 ± 0,24	0,39

^a 10 měření

Zpracování výsledků testu

Množství methanu (mol) v bioplynu, změřené v plynoměrné stříkačce a korigované na množství methanu ze slepého pokusu, tedy chápané jako ≈ netto „vyprodukované“ ze substrátu v testovací baňce, bylo vypočteno následovně:

$$n = \sum_{i=1}^j \Delta n_i = \sum_{i=1}^j (p_{\Delta t_i} - p_{H_2O}) \cdot (\Delta V_i - \Delta V_i^0) / [273,15 + (\tau_i + 2)] \cdot R, \quad (1)$$

kde: n - množství methanu [mol]

Δn_i - přírůstek množství methanu [mol] za časový interval Δt_i , tj. k okamžiku odečtu t_i

$p_{\Delta t_i}$ - atmosferický tlak v době měření bioplynu, tj. na konci Δt_i [Pa]

p_{H_2O} - tenze vodních par v měřicím prostoru [Pa]

ΔV_i - přírůstek objemu methanu v bioplynu za časový interval Δt_i [m³] (z přírůstku změřeného objemu bioplynu a analýzy jeho složení z azotometru)

ΔV_i^0 - průměrný přírůstek objemu methanu v bioplynu u slepých pokusů za časový interval Δt_i [m³] (z objemu bioplynu a složení z azotometru)

τ_i - laboratorní teplota [°C] v době měření objemu bioplynu t_i (v oblasti umístění injekčních stříkaček je zvýšená teplota o cca 2 °C vlivem přenosu tepla z lázně temperované na 35 °C)

R - plynová konstanta [8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹]

j - počet odečtů

Změřené množství methanu n , vyhodnocené dle rovnice (1) a tím již korigované na pozadí (slepý pokus) bylo

porovnáno s maximálně možným vyprodukovaným množstvím methanu n_{th} (teoretické maximum) a uváděno v procentech dle vztahu (2):

$$z = \frac{n}{n_{th}} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Výsledky a diskuse

Funkčnost navržené laboratorní aparatury byla ověřována následovně. Navážky substrátů pro první i další série pokusů byly přizpůsobeny kapacitě stříkaček - teoretické množství vyprodukovaného bioplynu mělo být do 20 ml. Biologické medium bylo syceno bioplynem, aby změny objemů z rozpouštění CO₂ či CH₄ se na odečtech projevíly co nejméně, tj. změřený objem se co nejvíce blížil očekávaným 100 % teorie.

K zajištění srovnatelného míchání kalové suspenze ve všech testovacích baňkách byla použita 15-ti místná elektromagnetická míchačka (270 ot.min⁻¹).

Pro volbu vhodného „těsnicího média“ zábrusů a pístů stříkaček byly porovnány glycerin a směs vývěvový olej + nízkomolekulární polypropylen. Tato směs použitá u slepého pokusu 1 a methanolů 1 až 3 se prokázala jako vhodnější než glycerin, který vlivem absorpce vodní páry nad vodní lázní snižoval svoji viskozitu a vytékal ze štěrbin pístu stříkačky. Píst těsnilo a mazalo pouze cca 0,1 g oleje. Použití těchto rozdílných maziv nemělo za následek naměření jiného složení nebo objemu zachyceného bioplynu.

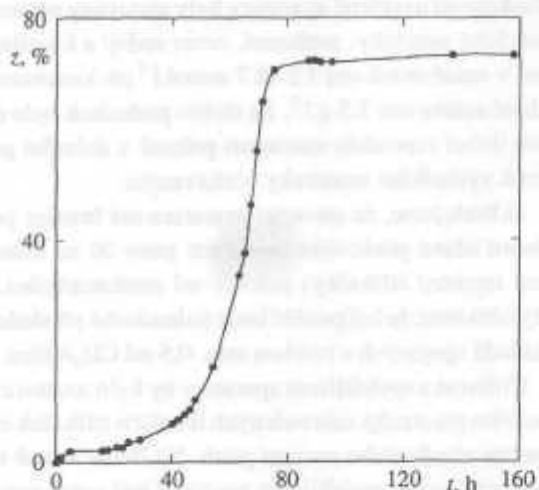
Rozklad methanolu

Očkovací médium bylo za intenzivního míchání nasyceno 10-ti 1 plynné směsí 37,5 % CO₂ + 62,5 % CH₄ - průtok byl 680 ml.min⁻¹. Sycení probíhalo za teploty v laboratoři (cca 25 °C), vhodnější by bylo 35 °C, tj. teplota při uvolňování plynu v testech.

Od této série byl píst stříkačky a zábrus baňky mazán směsí vývěvový olej + nízkomolekulární polypropylen (cca 1:1). Tygonová kapilára byla zakápnuta glycerinem a utěsněna drátkem, k dotěsnění zámku stříkačky byla použita velmi viskózní směs glycerinu (7 dílů) vařeného s kyselinou boritou (3 díly hmotnostní).

Prvním testovacím substrátem byl methanol v navážce 23,7 mg na baňku, což představuje cca 20 ml vyprodukovaného bioplynu (CO₂ + CH₄). Časový průběh tvorby methanu při rozkladu methanolu dokumentuje obr. 2. Všechny 5 opakovaných provedení pokusu bylo ve velmi dobré shodě.

Počáteční sušina kalové suspenze v testovací baňce byla $2,12 \text{ g.l}^{-1}$, $\text{pH} = 7,03$. Hodnoty pH a sušiny kalové suspenze na konci pokusu spolu s analýzami vyprodukovaného bioplynu ukazuje tabulka II.



Obr. 2. Anaerobní rozklad **methanolu** při $35 \text{ }^\circ\text{C}$; z - množství vyprodukovaného methanu v %, viz vztah (2)

Tabulka II

Hodnoty analyzovaných parametrů při rozkladu methanolu

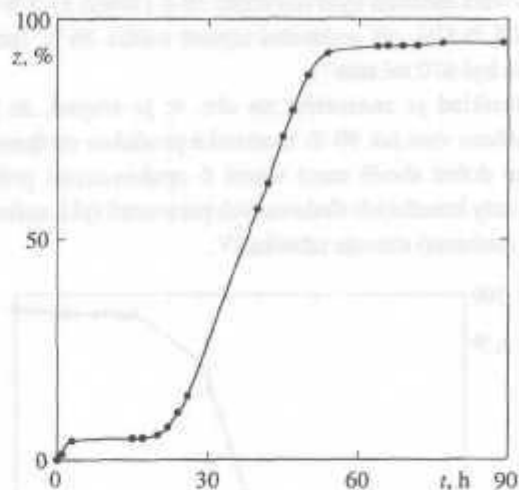
Pokus	$\text{pH}_{\text{kon.}}$	Sušina [g.l^{-1}]	Methan [% obj.]
Sl. pokus 1	7,26	1,88	62,5 ^a
Sl. pokus 2	7,48	1,87	62,5 ^a
Sl. pokus 3	7,31	1,85	62,5 ^a
Methanol 1	7,33	1,90	67,0
Methanol 2	7,38	1,83	63,5
Methanol 3	7,38	1,93	64,2
Methanol 4	7,40	1,85	64,4
Methanol 5	7,46	1,89	64,5

^a Množství uvolněného bioplynu nepostačovalo k přesné analýze v azotometru. Bylo tedy předpokládáno složení 62,5 CH_4 odpovídající složení bioplynu, kterým byl roztok nasycen z tlakové lahve a které též odpovídá i průměrné hodnotě rozkladu samotné biomasy a odpovídá též uskučeným analýzám bioplynu ze slepých pokusů měřených později - viz tabulka III atd.

Rozklad octanu sodného

Připraven neutralizací kyseliny octové NaOH (1,1 % volné kyseliny - $\text{pH} = 6,7$), navážka substrátu 23,61 mg na

baňku, počáteční sušina kalové suspenze byla $2,14 \text{ g.l}^{-1}$, $\text{pH} = 7,03$. Očkovací médium bylo syceno 10-ti 1 plynné směsí (průtok 515 ml.min^{-1}). Počáteční teplota média byla $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$, během sycení poklesla teplota o $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 3. Anaerobní rozklad octanu sodného při $35 \text{ }^\circ\text{C}$; (1,1 % volné CH_3COOH); z - množství vyprodukovaného methanu v %, viz vztah (2)

Tabulka III

Hodnoty analyzovaných parametrů při rozkladu octanu sodného

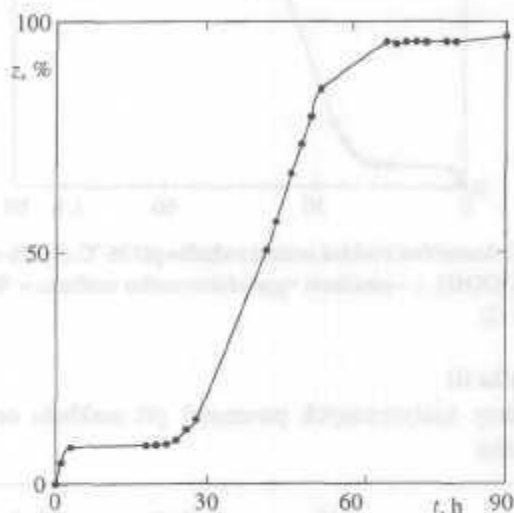
Pokus	$\text{pH}_{\text{kon.}}$	Sušina [g.l^{-1}]	Methan [% obj.]
Sl. pokus 1	7,38	2,057	63,0
Sl. pokus 2	7,43	2,106	63,7
Sl. pokus 3	7,42	2,032	62,5
Octan 1	7,45	2,016	67,0
Octan 2	7,47	2,099	68,2
Octan 3	7,43	2,051	69,1
Octan 4	7,48	2,106	67,6
Octan 5	7,49	2,067	66,0
Octan 6	7,58	2,072	66,8
Octan 7	7,61	2,102	68,2

Z obr. 3 je patrné, že při rozkladu octanu sodného za anaerobních podmínek bylo vyprodukováno přes 90 % teoretické produkce methanu při dobré shodě průběhu měření mezi všemi 7 opakovanými souběžnými pokusy. Konečné hodnoty pH a sušiny kalové suspenze spolu s obj. % methanu v bioplynu uvádí tabulka III.

Rozklad kyseliny octové

Navážka kyseliny octové byla 23,61 mg na baňku, počáteční sušina kalové suspenze $2,46 \text{ g.l}^{-1}$, $\text{pH} = 7,16$. Očkovací médium bylo nasyceno 10-ti 1 směsí $37,5 \% \text{ CO}_2 + 62,5 \% \text{ CH}_4$ při počáteční teplotě média 36°C (průtok plynu byl 670 ml.min^{-1}).

Rozklad je znázorněn na obr. 4; je zřejmé, že bylo naměřeno více jak 90 % teoretické produkce methanu při velmi dobré shodě mezi všemi 6 opakovanými pokusy. Hodnoty konečných sledovaných parametrů (pH , sušina, % obj. methanu) shrnuje tabulka IV.



Obr. 4. Anaerobní rozklad kyseliny octové při 35°C ; z - množství vyprodukovaného methanu v %, viz vztah (2)

Tabulka IV

Hodnoty analyzovaných parametrů při rozkladu kyseliny octové

Pokus	$\text{pH}_{\text{kon.}}$	Sušina [g.l^{-1}]	Methan [% obj.]
Sl. pokus 1	7,24	2,042	63,6
Sl. pokus 2	7,25	2,100	66,6
Sl. pokus 3	7,26	2,160	71,3
Kys. octová 1	7,20	2,185	61,0
Kys. octová 2	7,22	2,097	60,0
Kys. octová 3	7,26	2,045	58,8
Kys. octová 4	7,25	2,110	59,5
Kys. octová 5	7,19	2,101	60,5
Kys. octová 6	7,32	2,135	61,8

Závěr

Byla zkoušena laboratorní aparatura pro volumetrické sledování anaerobního rozkladu. Pro ověření spolehlivosti a funkčnosti navržené aparatury byly testovány následující modelové substráty: methanol, octan sodný a kyselina octová v množstvích cca $3,5$ až 7 mmol.l^{-1} při koncentracích kalové sušiny cca $2,5 \text{ g.l}^{-1}$. Za těchto podmínek bylo dosaženo dobré reprodukovatelnosti pokusů a dobrého přiblížení k výsledkům teoreticky očekávaným.

Odhadujeme, že stávající aparatura má hranice použitelnosti (dané především netěsností pístu 20 ml celosklepně inžekční stříkačky) cca $0,1 \text{ ml}$ methanu/týden. Lze tedy očekávat, že její použití bude jednoduché při sledování rozkladů spojených s tvorbou min. $0,5 \text{ ml CH}_4/\text{týden}$.

Citlivost a spolehlivost aparatury by bylo možno zvýšit použitím precizněji zabroušených menších stříkaček či vyvinutím vhodnějšího mazání pístů. Na druhé straně nemá smysl citlivost a spolehlivost zvyšovat nad samu reprodukovatelnost testů a především slepých pokusů.

Z hlediska citlivosti, spolehlivosti a mnoha dalších hledisek je lepší tlakoměrná metoda; především s její pomocí by se měla ověřit reprodukovatelnost testů a slepých pokusů, či provést souběžné porovnání obou metod.

U stávající aparatury a kalu směrodatná odchylka slepých pokusů při sledování anaerobního rozkladu octanu sodného činila cca $0,3 \text{ ml CH}_4$. Je naděje, že se dá snížit při menší koncentraci biomasy, resp. ještě pečlivějším provedení testu např. s menšími stříkačkami a pak i signál cca $0,5 \text{ ml CH}_4/\text{týden}$ z pomalých anaerobních rozkladů by mohl lépe vystoupit ze šumu rozptylů. Např. při testech anaerobních rozkladů plastů s malým povrchem a malým obsahem rozpustných organických látek (či obecně pomalu rozložitelných) asi velká koncentrace biomasy rozklad podstatně neurychlí, spíše se zvětšuje rozptyl (šum pozadí). Optimalizace návrhu anaerobního testu může přinést výsledky, které dovolí lépe zhodnotit možnosti využití a opodstatnění používání navržené aparatury k volumetrickému sledování anaerobních rozkladů organických látek.

LITERATURA

1. Valcke D., Verstraete W.: J. Water Pollut. Contr. Fed. 55, 1191 (1983).
2. Shelton D. F., Tiedje J. M.: Appl. Environ. Microbiol. 47, 850 (1984).
3. Dolfing J., Bloemen W. G. B. M.: J. Microbiol. Methods 4, 1 (1985).

4. Ince O., Anderson G. M., Kasapgil B.: *Water Res.* 29, 349 (1995).
5. Monteggia L.: *Ph. D. thesis*. The University of Newcastle upon Tyne, Newcastle 1993.
6. James A., Chernicharo C. A. L., Campos C. M. M.: *Water Res.* 24, 813(1990).
7. Colleran E., Concannon F., Golden T., Geoghegan F., Crumlish B., Killilea E., Henry M., Coates J.: *Wat. Sci. Tech.* 25, 31(1992).
8. Van Der Zee M., Sijtsma L., Tan G. B., Tournois H., De Wit D.: *Chemosphere* 28, 1757 (1994).
9. ASTM D 5210-91, Standard Test Method for Determining the Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials in the Presence of Municipal Sewage Sludge.
10. Horáková M., Lischke P., Grmwald A.: *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*, str. 63, 88, 104. SNTL/ALFA, Praha 1986.

J. Hrnčířík, J. Klíma and J. Kupec (*Department of Environmental Technology and Chemistry, Faculty of Technology, Technical University, Zlín*): **Apparatus for Volumetric Monitoring of the Anaerobic Decomposition of Organic Compounds**

The laboratory volumetric apparatus designed for the study of anaerobic decomposition of organic compounds was tested with a heterogenous culture of microorganisms. Methanol, sodium acetate, and acetic acid were tested at $\sim 35^\circ\text{C}$, $3.5\text{--}7\text{ mmol.l}^{-1}$ organic substrate, and 2.5 g.l^{-1} dry biomass. Very good reproducibility of determination was obtained for the amounts of biogas corresponding to 60-90 % theoretical methane evolution depending of the type of substrate. Optimization of the measurement can give a substance to this method which is less expensive than the manometric method.