

Využitie respirometrie pri sledovaní čistenia odpadových vôd potravinárskeho priemyslu

VLADIMÍR HLAVAČKA – PAVOL GRGAČ – VLADIMÍR BUREŠ

Súhrn. Jednoduchá respiometrická metóda merania niektorých konštánt aktivovaného kalu bola vypracovaná pre jednozložkové substráty. V príspevku sa opisuje overenie a aplikácia tejto metódy pre zmesné substráty odpadových vôd z výroby kukuričného škrobu. Zistené hodnoty koeficientov produkcie a rozkladu biomasy sú presné a veľmi podobné hodnotám klasickej metódy. Navrhuje sa prepočet z kyslíkových na hmotnostné jednotky overeným kyslíkovým ekvivalentom. Respiometrickou metódou možno úplne nahradiť doterajší zdĺhavý postup zisťovania mnohých konštánt aktivácie v laboratóriu i praxi.

Najrozšírenejším spôsobom aeróbného čistenia odpadových vôd potravinárskeho priemyslu je aktivácia. Aktivovaný kal, ktorý je zmesnou kultúrou veľkého množstva mikroorganizmov, využíva organické látky z odpadových vôd ako substrát pre svoj rast a rozmnožovanie. Časť odstráneného substrátu je oxidovaná (pri úplnej oxidácii až na CO_2 a vodu) a druhá časť sa využíva na syntézu zásobných látok a novej biomasy, ktorú treba zo systému odstraňovať. Pri oxidačných procesoch sa spotrebúva kyslík, ktorý treba pri aktivácii plynule dodávať, čo dnes tvorí najväčšiu položku prevádzkových nákladov aktivačného procesu. Znalosť produkcie biomasy v aktivačnom procese napomáha optimalizovať proces ďalšieho spracovania prebytočného aktivovaného kalu (zahusťovanie, odvodňovanie), prípadne jeho eventuálneho využitia, čo je v potravinárskom priemysle najbližšia úloha vodohospodárskych pracovníkov. Tomu môže napomôcť aj znalosť súboru kinetických a respiračných koeficientov, ktoré možno zistiť pomerne jednoduchou respiometrickou metódou. Cieľom tohto príspevku je oboznámiť zainteresovaných pracovníkov s touto metódou a s jej aplikáciou pre zmesný substrát odpadovej vody potravinárskeho priemyslu, pretože doteraz sa používala iba pre jednozložkové substráty.

Ing. Vladimír Hlavačka, Ing. Pavol Grgáč, Vladimír Bureš, Výskumný ústav LIKO, Miletieva 23, 824 62 Bratislava.

Kinetické konštanty biocenózy aktivovaného kalu. Kinetika rastu mikroorganizmov sa najčastejšie opisuje všeobecne známou Monodovou rovnicou [1]. Ak ju aplikujeme na mikroorganizmy aktivovaného kalu, nesmieme zabúdať, že hodnoty rastových konštánt sú priemernými hodnotami pre všetky mikroorganizmy v aktivovanom kale podľa ich relatívneho zastúpenia v ňom.

Úlohou čistenia odpadových vôd však nie je kultivácia zmesnej kultúry (produkcia biomasy), ale odstraňovanie organických látok z odpadových vôd. Preto je lepšie vyjadriť Monodovu rovnicu ako kinetickú rovnicu odstraňovania substrátu, t.j. po jej spojení s rovnicou závislosti rýchlosti rastu biomasy od rýchlosti odstraňovania substrátu [2]

$$-\frac{dS}{dt} \frac{1}{X_b} = \frac{\mu_{\max}}{Y_{\text{obs}}} \frac{S}{K_s + S},$$

kde X_b je koncentrácia biomasy [M.L^{-3}], S -koncentrácia substrátu limitujúceho rast [M.L^{-3}], μ_{\max} – maximálna špecifická rýchlosť rastu [T^{-1}], Y_{obs} – pozorovaný koeficient produkcie biomasy [M.M^{-1}], K_s – saturačná konštanta [M.L^{-3}].

Rovnicu (1) možno previesť na závislosť rýchlosti odstraňovania substrátu od jeho aktuálnej koncentrácie

$$r_x = r_{x,m} \frac{S}{K_s + S}, \quad (2)$$

kde r_x je aktuálna špecifická rýchlosť odstraňovania substrátu [$\text{M.M}^{-1}.\text{T}^{-1}$], $r_{x,m}$ – maximálna špecifická rýchlosť odstraňovania substrátu [$\text{M.M}^{-1}.\text{T}^{-1}$].

Z praktického hľadiska je dôležité poznať hodnoty K_s a $r_{x,m}$ pre daný systém, ako aj hodnotu koeficientu produkcie biomasy Y_b a koeficientu rozkladu biomasy k_b .

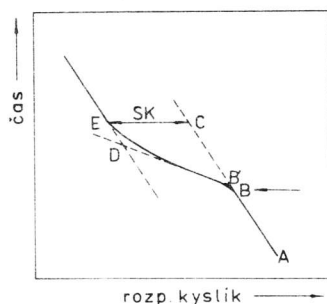
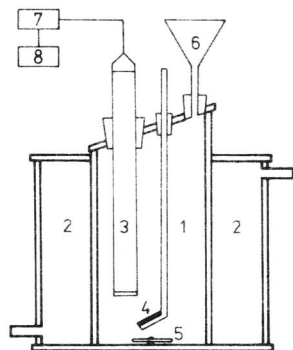
Z kinetického hľadiska ide pri čistení odpadových vôd potravinárskeho priemyslu o odstraňovanie viaczožkového substrátu, čiže celková rýchlosť odstraňovania udáva súčet okamžitých rýchlostí odstraňovania jednotlivých zložiek. Odstraňovanie každej zložky prebieha podľa kinetiky nultého poriadku (teda rýchlosťou nezávislou od koncentrácie), teda ani celková rýchlosť odstraňovania substrátu nie je závislá od jeho počiatočnej koncentrácie. Pri obvyklých kinetických meraniach sa určuje špecifická kinetická konštanta formálne n -tého poriadku $k_{s,n}$ a formálny poriadok reakcie n [3].

Na stanovenie saturačnej konštanty K_s a maximálnej špecifickej rýchlosti odstraňovania substrátu $r_{x,m}$ pre jednozložkový substrát (podľa rovnice (2)) sa vypracovala metóda „nekonečného riedenia“ (infinite dilution method) [4]. Jej nevýhodou je potreba špecifickej a presnej analytickej metódy stanovenia testovaného substrátu, pretože skupinové stanovenia (ChSK, BSK₅, IOC) nemožno použiť.

Respirometrická metóda určenia kinetických konštánt. Nevýhoda metódy nekonečného riedenia sa odstránila vypracovaním jednoduchšej respirometrickej metódy na určenie kinetických konštánt mikroorganizmov aktivovaného kalu [5], ktorá sa postupne overovala pre viacero jednozložkových substrátov [6, 7] (vypracoval sa jednoduchý respirometer, ktorý schematicky znázorňuje obr. 1).

Metodika respirometrických meraní je veľmi jednoduchá. Aktivačná zmes potrebnej koncentrácie sa privedie do respirometrickej bunky a prevzdušňuje sa do hodnoty koncentrácie rozpusteného kyslíka $6-8 \text{ mg.l}^{-1}$. Po vypnutí aerácie sa na papieri zapisovača objaví pomalý pokles koncentrácie rozpusteného kyslíka spôsobený heterotrofnou endogénnou respiráciou. Typický respirogram je na obr. 2.

Priamka ABC ukazuje, že v priebehu endogénnej respirácie kyslík spotrebúva biocenóza aktivovaného kalu konštantnou rýchlosťou. V čase B sa do respirometra nastrekne injekčnou striekačkou vypočítaný objem substrátu (prepočíta sa na koncentráciu S). To spôsobí vzostup respiračnej rýchlosti (priamka B'D, ktorá je dotyčnicou ku krivke BE s maximálnou hodnotou) na konštantnú celkovú respiračnú rýchlosť pri koncentrácii S (endogénnu aj exogénnu). Postupným klesaním koncentrácie S klesá aj respiračná rýchlosť, keďže pri nízkych hodnotách S je od nich závislá [1, 3]. V bode E je už substrát odstránený a respiračná rýchlosť sa vráti na pôvodnú hodnotu endogénnej respirácie (priamka DE rovnobežná s ABC).



Obr. 1. Schéma použitého respirometra. 1 – respirometrická bunka, 2 – vodný temperovací plášť, 3 – kyslíková sonda (fa Selection), 4 – prevzdušňovacia fritá, 5 – magnetická miešačka, 6 – expanzná nálevka 7 – analyzátor kyslíka (fa Selection), 8 – zapisovač (TZ 4601).

Fig. 1. Scheme of the respirometer used. 1 – respirometric cell, 2 – water jacket, 3 – oxygen probe (fa Selection), 4 – aeration frit, 5 – magnetic mixer, 6 – expansion funnel, 7 – oxymeter (fa Selection), 8 – recorder TZ 4601).

Obr. 2. Príklad typického respirogramu.

Fig. 2. Example of a typical respirogram. (Timer; Dissolved oxygen.)

Takto možno postupne merať respiračné rýchlosti r_x pre rôzne hodnoty S a metódou najmenších štvorcov vypočítať K_s a $r_{x,m}$. Možno však veľmi rýchlo a presne zistiť aj iné veličiny. Vyhodnotenie respirogramu je jednoduché. Najprv sa vypočíta endogénna ($r_{x,e}$) a celková ($r_{x,t}$) respiračná rýchlosť, odpočíta sa čistá spotreba O_2 spôsobená úplným odstránením substrátu (SK). Možno vypočítať (všetko v kyslíkových jednotkách):

a) špecifickú rýchlosť oxidácie substrátu pri koncentrácii S

$$r_{x,ox} = r_{x,t} - r_{x,s}, \quad (3)$$

b) špecifickú rýchlosť odstraňovania substrátu pri koncentrácii S

$$r_x = \frac{r_{x,ox}}{SK/S}, \quad (4)$$

c) koeficient oxidácie substrátu ($1 - Y_b$)

$$1 - Y_b = SK/K, \quad (5)$$

d) koeficient produkcie biomasy Y_b

$$Y_b = 1 - SK/K. \quad (6)$$

Na výpočet hodnôt podľa b, c, d sa odporúča použiť priemernú hodnotu SK/S zo všetkých meraní.

Z troch bežných spôsobov linearizácie rovnice (2) sa javí ako najlepší spôsob podľa rovnice

$$\frac{1}{r_x} = \frac{K_s}{r_{x,m}} \frac{1}{S} + \frac{1}{r_{x,m}}. \quad (7)$$

Z porovnania tejto metódy s metódou nekonečného riedenia vychádza, že respirometricky sa zistia trochu vyššie hodnoty K_s . Vysvetlením je adsorpcia časti substrátu na povrchu biomasy, čím klesá jeho aktuálna koncentrácia v roztoku. Respirometrická metóda sa zakladá na výpočte počiatočnej koncentrácie S , takže tieto zmeny nezachytí. To je však sčasti aj jej výhodou, pretože sa dá použiť aj pre analyticky ťažko stanoviteľné substráty. Ďalšími výhodami sú: vyššia citlivosť oproti metódam založeným na meraní rastu biomasy a odstraňovania substrátu [3, 4], určovania kinetických konštánt zmesnej kultúry pri daných technologických parametroch (zaťaženie a vek kultúry bez ovplyvnenia jej zloženia, a napokon jednoduchosť metódy.

Experimentálna časť

Aplikácia respirometrickej metódy pre zmesný substrát odpadových vôd potravinárskeho priemyslu. S potrebou určenia respiračných rýchlostí a koeficientu produkcie a rozkladu biomasy sa pri riešení úloh v oblasti vodného hospodárstva vo VÚ LIKO stretávame pravidelne. Koeficient produkcie biomasy je jedným z najdôležitejších parametrov návrhu technológie čistenia potravinárskych odpadových vôd aktiváciou. Včasné zistenie hodnôt Y_b a k_b umožňuje určiť množstvo vyprodukovanej biomasy a kalové pomery v aktivácii, teda údaje potrebné na ďalšie spracovanie prebytočného aktivovaného kalu. Tieto hodnoty sú potrebné aj pri navrhovaní technológie čistenia odpadových vôd pre novobudované ČOV.

Na určovanie uvedených konštánt pre jednozložkové substráty sa teda osvedčila opísaná respirometrická metóda. Pri takomto využití je vhodná najmä pre výskumné účely a teoretické práce. Problém je však v tom, že neexistuje azda reálna odpadová voda, v ktorej by bol zastúpený iba jednozložkový substrát. Preto sme sa rozhodli aplikovať túto metódu aj pre reálne odpadové vody potravinárskeho priemyslu.

Po zavedení respirometrickej metódy sme ju overili na glukózu a kyselinu citrónovú (teda jednozložkové substráty v presnom pomere) v modeli zmieša-

T a b u l k a 1. Technologické parametre modelovej jednostupňovej zmiešavacej aktivácie s oddelenou regeneráciou kalu

T a b l e 1. Technological parameters of the modelling one-stage contact stabilization of activated sludge process

Objem aktivácie ¹ Objem regenerácie ²	[l] [l]	4 1.1
Recirkulačný pomer ³ R Priem. doba zdržania odp. vody ⁴ Vek kalu ⁵ θ_x	[h] [d]	1 15,23 8
Priem. koncentrácie biomasy ⁶ X_b Priem. podiel org. sušiny ⁷ Priem. kalový index ⁸ KI	[kg.m ⁻³] [%] [ml.g ⁻¹]	5,2 90,0 51
Priem. objemové zaťaženie ⁹ B_v	[kg.m ⁻³ .d ⁻¹]	ChSK 1,34 BSK ₅ 1,10
Priem. zaťaženie kalu ¹⁰ B_x	[kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹]	ChSK 0,26 BSK ₅ 0,21

¹Contact tank volume; ²Sludge regeneration tank volume; ³Recirculation ratio R ; ⁴Mean wastewater retention time; ⁵Mean cell residence time θ_x ; ⁶Mean biomass concentration Y_b ; ⁷Mean volatile suspended solids percentage; ⁸Mean sludge volume index KI ; ⁹Mean volumetric loading B_v ;

¹⁰Mean sludge loading B_x .

vacej aktivácie s oddelenou regeneráciou kalu. V rovnakom modeli sme ju potom aplikovali na zmesný substrát odpadových vôd z výroby kukuričného škrobu [8]. Technologické parametre modelovej aktivácie zhŕňa tabuľka 1. Výsledky vykázali veľmi dobrú zhodu s údajmi autorov tejto metódy [5–7]. Vyhodnotenie respirogramov pre zmesný substrát škrobárenskej odpadovej vody je v tabuľke 2. Závislosť hodnoty r_x od hodnoty S a jej linearizácia podľa rovnice (7) je na obrázku 3.

Overili sme aj zhodu nameraných a vypočítaných hodnôt Y_b respirometrickou metódou a klasickou metódou [3]. Táto metóda sa použila v semikonti-

T a b u ľ k a 2. Vyhodnotenie respirogramov pre zmesný substrát škrobárenskej odpadovej vody

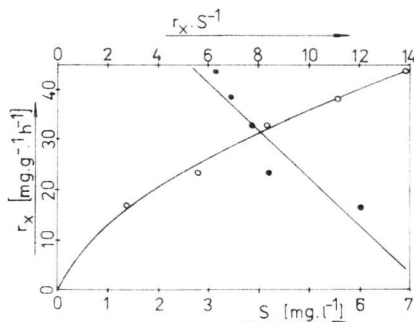
T a b l e 2. Respirogram evaluations made for mixed substrate of the starch waste water

\check{C}^1	S [mg.l ⁻¹]	SK/S	$r_{x,ox}$ [mg.g ⁻¹ .h ⁻¹]	r_x [mg.g ⁻¹ .h ⁻¹]	$r_{x,l}$ [mg.g ⁻¹ .h ⁻¹]	$r_{x,e}$ [mg.g ⁻¹ .h ⁻¹]
1	1,380	0,377	6,11	16,51	10,40	4,29
2	2,769	0,412	8,63	23,32	12,39	3,76
3	4,154	0,361	11,84	32,80	15,93	4,09
4	5,538	0,381	14,16	38,27	18,36	4,20
5	6,920	0,318	16,13	43,59	20,44	4,31

$$\begin{aligned} X_b &= 7.50 \text{ kg.m}^{-3}, & K_s &= 4.60 \text{ mg.l}^{-1}, \\ X_{b,org} &= 6.78 \text{ kg.m}^{-3}, & r_{x,m} &= 69.5 \text{ mg.g}^{-1}.\text{h}^{-1}. \end{aligned}$$

nuálnom usporiadaní troch paralelných aktivácií s jednoduchým živinám pri troch rôznych vekoch kalu (3, 6 a 9 d) za ustáleného stavu [8]. Namerané a vypočítané hodnoty na stanovenie Y_b a k_b sú v tabuľke 3. Výsledky možno spracovať na základe funkcie $Y_{obs} = f(\Delta B_x^{-1})$ alebo funkcie $\theta_x^{-1} = f(\Delta B_x)$ [3].

Merania sa spracovali na počítači s využitím programu, ktorý pre nás zho-



Obr.3. Závislosť aktuálnej špecifickej rýchlosti odstraňovania substrátu (r_x) od koncentrácie substrátu limitujúceho rast (S) a jej linearizácie podľa $r_x = r_{x,m} - K_s r_x S^{-1}$.

Fig. 3. Dependence of the actual specific substrate removal rate (r_x) on the concentration of the substrate (S) limiting the growth and the linearization according to $r_x = r_{x,m} - K_s r_x S^{-1}$.

T a b u ľ k a 3. Namerané a vypočítané hodnoty na stanovenie Y_b a k_b klasickou metódou
 T a b l e 3. Founded and calculated values for Y_b and k_b determination using the common method

Nastavený vek kalu ¹ Θ_x		[d]	3	6	9
Skutočný vek kalu ² θ_x		[d]	2,9	5,9	8,7
Koncentrácia biomasy ³ X_b		[kg.m ⁻³]	1,70	3,83	2,56
Produkcia biomasy ⁴ ΔX_b		[kg.m ⁻³]	0,587	0,653	0,296
Výťažok biomasy ⁵ Y_{obs}	ChSK	[kg.kg ⁻¹]	0,464	0,490	0,233
	BSK _s	[kg.kg ⁻¹]	0,746	0,798	0,382
Odstránené objemové zaťaženie ⁶ ΔB_v	BSK _s	[kg.m ⁻³ .d ⁻¹]	0,787	0,817	0,774
	ChSK	[kg.m ⁻³ .d ⁻¹]	1,266	1,331	1,272
Odstránené zaťaženie kalu ⁷ ΔB_x	BSK _s	[kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹]	0,463	0,213	0,302
	ChSK	[kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹]	0,747	0,347	0,496
Koncentrácia nerozp. látok na výstupe ⁸ X_2		[kg.m ⁻³]	0,060	0,027	0,021

¹Adjusted mean cell residence time; ²Real mean residence time; ³Biomass concentration; ⁴Biomass production; ⁵Biomass yield; ⁶Volumetric loading removed; ⁷Sludge loading removed; ⁸Outlet suspended solids concentration.

toivil Derco a kol. [9]. Porovnanie hodnôt zistených oboma metódami je v tabuľke 4.

Analytická kontrola pri oboch metódach sa robila podľa Horákovej a kol. [10], kde je najnovšie spracovanie predpísaných Jednotných analytických metód [11]. Štatistické spracúvanie hodnôt sa robilo podľa Tučka a kol. [12].

T a b u ľ k a 4. Hodnoty koeficientov produkcie biomasy Y_b a rozkladu biomasy k_b zistených oboma metódami

T a b l e 4. Biomass yield Y_b and decay coefficients values k_b determined by both methods.

	Y_b [kg.kg ⁻¹]	k_b [d ⁻¹]
a) Pre ChSK _{Cr} a celkovú sušinu biomasy ¹		
Klasická metóda ³		
funkcia ⁴ $Y_{obs} = f(\Delta B_x^{-1})$	0,432	0,031
Klasická metóda ³		
funkcia ⁴ $\Theta_x^{-1} = f(\Delta B_v)$	0,450	0,039
Respirometrická metóda ⁵	0,444	0,035
b) Pre BSK _s a celkovú sušinu biomasy ²		
Klasická metóda ³		
funkcia ⁴ 1	0,618	0,040
funkcia ⁴ 2	0,640	0,047
Respirometrická metóda ⁵	0,630	0,040

¹For COD and mixed liquor suspended solids (MLSS); ²For BOD_s and MLSS; ³Classical method; ⁴Function; ⁵Respirometric method.

Výsledky a diskusia

Koeficient produkcie biomasy Y_b je pre daný systém konštanta nezávislá od technologických parametrov procesu (θ , B_x , θ_x). Ide o limitnú hodnotu ($\Delta B_x \rightarrow \infty$, t.j. $\theta_x \rightarrow 0$) udávajúcu maximálne dosiahnuteľnú produkciu kalu. Skutočná produkcia biomasy (vyjadrená koeficientom Y_{obs}) je konštantná iba pre danú odpadovú vodu a aktivačnú zmes. Teda každá zmena v zložení odpadovej vody, resp. zmena v technológii čistenia, vedúca k zmene druhového zastúpenia v biocenóze aktivovaného kalu, vedie k zmene produkcie biomasy, vyjadrenej zmenou koeficientu Y_{obs} .

Práve odpadové vody mnohých potravinárskych výrob sú známe zmenami v zložení. Najčastejšou príčinou je kampaňovitost výroby a zmeny v druhu a kvalite suroviny (konzervárne, mraziarne, škrobárne, poľnohospodárske liehovary). Z toho resultujú aj rozdiely v produkcii odpadových vôd (množstve i znečistení). Biologické ČOV sa musia s týmito rozdielmi vyrovnávať, čo sa okrem iného prejavuje aj rozdielnou produkciou kalu.

Zisťovanie hodnôt Y_b pre zmesný substrát odpadovej vody je pomerne bežné spomínanou klasickou metódou [3]. Tá je však mimoriadne zdĺhavá a náročná na analytickú kontrolu. V laboratórnych aj prevádzkových podmienkach sa musia urobiť minimálne 3 série pokusov s udržiavaním 3 rôznych vekov kalu. Väčšie množstvo pokusov zvyšuje presnosť, ale aj časovú náročnosť meraní. Čas postačujúci na adaptáciu biomasy na zmesný substrát a na ustálenie podmienok je v jednotlivých sériách až šesťnásobkom veku kalu. Z toho vychádza čas určenia Y_b v laboratórnych podmienkach 2,5–3 mesiace a v reálnej ČOV okolo 5 mesiacov (pričom sa mení hydraulický režim aktivácie).

Zavedenie respirometrickej metódy do hodnotenia reálnej ČOV, resp. do návrhu technológie čistenia vôd, vychádzajúce z laboratórnych či poloprevádzkových údajov, umožňuje skrátiť čas určenia hodnoty Y_b (a iných konštánt) na niekoľko dní. Pritom množstvo nameraných údajov za tento krátky čas je limitované iba analytickou kontrolou a snahou o presnosť.

Merania vykazovali veľmi dobrú reprodukovateľnosť pri vyšších a stredných koncentráciách substrátu. Pri nižších hodnotách S sa prejavila vyššia variácia, preto sa merania opakovali 7–10-krát a do vyhodnotenia sa brala priemerná hodnota. Vplyv nepatrnej aktivizácie biomasy sa eliminoval striedaním meraní s nízkymi a vysokými koncentraciami substrátu.

Hodnota koeficientu rozkladu biomasy k_b pri respirometrickej metóde sa dá vypočítať podľa [3] z rovnice

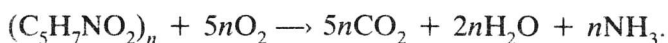
$$\theta_x^{-1} = Y_b \frac{\epsilon B_v}{X_b} - k_b \quad (9)$$

K zisteným koeficientom treba podotknúť, že endogénna respirácia je závislá od veku a fyziologického stavu kultúry. Na maximálnu rýchlosť odstraňovania substrátu $r_{x,m}$ má pozitívny vplyv oddelená regenerácia kalu. Znižuje síce špecifickú endogénnu respiračnú rýchlosť $r_{x,e}$, ale zvyšuje hodnotu $r_{x,m}$ [8, 13, 14].

Pri výpočtoch možno za ΔX_b a X_b dosadzovať hodnoty celkovej biomasy alebo iba jej organického podielu. Veličiny ΔB_v , ΔB_x a S možno vyjadrovať v ChSK_{Cr} (najčastejšie), BSK_5 či TOC . To treba uvádzať v zápisoch, lebo tým sa menia aj hodnoty Y_b a k_b .

Väčšina odpadových vôd potravinárskeho priemyslu obsahuje nerozpustné látky (organické alebo anorganické). Tá časť, ktorá sa nezachytí v primárnej usadzovacej nádrži, vytvára s biomasou aktivovaný kal. Väčšinou sú to látky rozložiteľné, takže sú zahrnuté v skupinovom stanovení (ChSK_{Cr} , BSK_5 , TOC). S inertnými látkami (ak sa vyskytujú) treba počítať, lebo ovplyvňujú určované koeficienty. Ich zanedbaním strácajú koeficienty Y_b a k_b svoj význam, pretože sú závislé od koncentrácie inertných látok, a tým aj značne premenné.

Pri prepočte hodnôt Y_b z kyslíkových na hmotnostné jednotky pri zmesnom substráte škrobárenskej odpadovej vody sme vychádzali z rovnice autooxidácie bunkového materiálu biomasy



Vzorec biomasy $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ udáva vzájomný pomer medzi najdôležitejšími prvkami organického podielu aktivovaného kalu. Z rovnice vyplýva, že na úplnú oxidáciu 1 kg organickej biomasy treba 1,42 kg O_2 . Hodnota tohto kyslíkového ekvivalentu je však závislá od elementárneho zloženia biomasy. Pohybuje sa od 1,3 do 1,5 kg.kg⁻¹.

Záver

Jednoduchá respirometrická metóda merania niektorých konštánt aktivovaného kalu bola vypracovaná pre jednozložkové substráty alebo ich známe pomery. Vzhľadom na časovú náročnosť a prácnosť zisťovania najmä koeficientov produkcie a rozkladu biomasy pre zmesné substráty odpadových vôd sme overili a aplikovali túto metódu pre odpadové vody z výroby kukuričného škrobu. V súčasnosti ju overujeme pre vody z výroby pšeničného škrobu a bakteriálnej α -amylázy.

Zistené hodnoty konštánt sú dostatočne presné. Hodnoty Y_b a k_b (priemer

viacerých meraní) sú vo veľmi dobrej zhode s hodnotami zistenými klasickou metódou. Doterajšie výsledky meraní ukazujú, že na prepočet Y_b z kyslíkových na hmotnostné jednotky postačuje pre reálne potravinárske odpadové vody prepočítací kyslíkový ekvivalent $1,42 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$. Pomer makroživín v organickom podiele biomasy v aktivácii sa pre škrobárenské odpadové vody výrazne nelíši od všeobecne používaného vzorca biomasy. Zistený obsah S a P v aktivačnej zmesi je oproti obsahu prvkov C, H, O a N taký nízky, že ovplyvňuje prepočítanú hodnotu Y_b až na ďalších desiatinných miestach.

Respirometrickou metódou možno úplne nahradiť doterajší zdĺhavý postup zisťovania mnohých konštánt aktivácie. Okrem rýchlosti a spoľahlivosti je táto metóda viaceré v texte uvedené výhody. Z ďalších treba uviesť možnosť odhadu toxicity neznámych látok, stanovenie biologickej rozložiteľnosti či sledovanie priebehu adaptácie aktivačnej zmesi na nový substrát. Metóda experimentálne potvrdzuje kinetickú selekčnú teóriu mikroorganizmov aktivovaných kalu. Opis tohto javu však presahuje rozsah a zámer tohto príspevku.

Veľkú výhodu tejto metódy posúdia tie výskumné a prevádzkové laboratóriá, kde je stanovenie uvedených koeficientov zaužívané z rôznych dôvodov. Na overení tejto metódy pre ďalšie zmesné substráty odpadových vôd z potravinárskych výrobní (mraziarne, zemiakové škrobárne, droždiarne, enzýmový závod) budeme postupne pracovať.

Zoznam použitých symbolov Symbols used

B_v	objemové zaťaženie volumetric loading	$[\text{M} \cdot \text{L}^{-3} \cdot \text{T}^{-1}]$
ΔB_v	odstránené objemové zaťaženie volumetric loading removed	$[\text{M} \cdot \text{L}^{-3} \cdot \text{T}^{-1}]$
B_x	zaťaženie kalu sludge loading	$[\text{M} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}]$
ΔB_x	odstránené zaťaženie kalu sludge loading removed	$[\text{M} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}]$
k_b	koeficient rozkladu biomasy biomass decay coefficient	$[\text{T}^{-1}]$
KI	kalový index sludge volume index	$[\text{L} \cdot \text{M}^{-1}]$
K_s	saturačná konštanta saturation constant	$[\text{M} \cdot \text{L}^{-3}]$
μ_{\max}	maximálna špecifická rýchlosť rastu maximum specific growth rate	$[\text{T}^{-1}]$

r_x	aktuálna špecifická rýchlosť odstraňovania substrátu actual specific substrate removal rate	$[M \cdot M^{-1} \cdot T^{-1}]$
$r_{x,m}$	maximálna špecifická rýchlosť odstraňovania substrátu maximum specific substrate removal rate	$[M \cdot M^{-1} \cdot T^{-1}]$
$r_{x,e}$	endogénna špecifická respiračná rýchlosť endogeneous specific respiration rate	$[M \cdot M^{-1} \cdot T^{-1}]$
$r_{x,t}$	celková špecifická respiračná rýchlosť total specific respiration rate	$[M \cdot M^{-1} \cdot T^{-1}]$
$r_{x,ox}$	špecifická rýchlosť oxidácie substrátu pri koncentrácii S specific substrate oxidation rate at concentration of S	$[M \cdot M^{-1} \cdot T^{-1}]$
S	koncentrácia substrátu limitujúceho rast concentration of the substrate limiting the growth	$[M \cdot L^{-3}]$
SK	čistá spotreba kyslíka, spôsobená úplným odstránením substrátu pure oxygen consumption, caused by complete substrate removal	$[M \cdot L^{-3}]$
θ	doba zdržania detention time	$[T]$
θ_x	vek kalu mean cell residence time	$[T]$
X_b	koncentrácia biomasy biomass concentration	$[M \cdot L^{-3}]$
$X_{b,org}$	koncentrácia organického podielu biomasy mixed liquor volatile suspended solids	$[M \cdot L^{-3}]$
Y_b	koeficient produkcie biomasy biomass yield coefficient observed	$[M \cdot M^{-1}]$
Y_{obs}	pozorovaný koeficient produkcie biomasy (výťažok biomasy) observed biomass yield coefficient (biomass yield)	$[M \cdot M^{-1}]$

Literatúra

- [1] TUČEK, F. – CHUDOBA, J. – KONÍČEK, Z., Základní procesy a výpočty v technologii vody, Praha, SNTL 1977, 496 s.
- [2] GHOSH, S. – POHLAND, F. G., Water Res., 6, 1972, č. 1, s. 99.
- [3] PITTER, P. – TUČEK, F. – CHUDOBA, J. – ŽÁČEK, L. et al., Laboratorní metody v technologii vody, Praha, SNTL 1982, 272 s.
- [4] WILLIAMSON, K. J. – MCCARTHY, P. L., Biotechnol. Bioeng., 14, 1975, č. 4, s. 915.
- [5] ČECH, J. S. – FARKAČ, J. – CHUDOBA, J., Vodní hosp., B, 34, 1984, č. 8, s. 215.
- [6] ČECH, J. S. – CHUDOBA, J. – GRAU, P., Water Sci. Technol., 17, 1984, č. 3, s. 259.
- [7] CHUDOBA, J. – ČECH, J. S. – FARKAČ, J. – GRAU, P., Water Res., 19, 1985, č. 2, s. 191.
- [8] HLAVAČKA, V. – BUREŠ, V. – GRGAČ, P. – POLÁKOVÁ, M., Optimalizácia riešenia vodného hospodárstva z výroby kukuričného škrobu. [Výsk. správa.] Bratislava, VÚ LIKO 1987, 54 s.

- [9] DERCO, J. – BÁLEŠ, V. – LADICKÝ, J., Výpočtové programy vybraných procesov v technológii vody. [Výsk. správa.] Bratislava, Chemickotechnologická fakulta SVŠT 1984, 137 s.
- [10] HORÁKOVÁ, M. – LISCHKE, P. – GRÜNWALD, A., Chemické a fyzikální metody analýzy vod. Praha, SNTL 1986, 392 s.
- [11] HOFMANN, P. a kol., Jednotné metody chemického rozboru vod. Praha, SNTL 1965, 452 s.
- [12] TUČEK, F. – HOLATA, I. – ECKSCHLAGER, K., Výpočetní technika pro technologii vody a prostředí. 2. vyd. Praha, SNTL 1983, 240 s.
- [13] HLAVÁČKA, V. – BUREŠ, V., Bull. PV, 25 (5), 1986, č. 3, s. 313.
- [14] CHUDOBA, J. – CHUDOBA, P., Vodní hosp., B, 36, 1986, č. 12, s. 311.

Использование респирометрического метода при исследовании очистки сточных вод пищевой промышленности

Резюме

Составлен был простой респирометрический метод измерения некоторых констант активированного ила для однокомпонентных субстратов. Эта статья занимается верификацией и аппликацией этого метода для смешных субстратов сточных вод из производства кукурузного крахмала. Полученные величины коэффициентов продукции и разложения биомассы являются точными и согласными с величинами полученными стандартным методом. Предлагается пересчет из кислородных на массовые единицы с удостоверенным кислородным эквивалентом. Респирометрическим методом можно заменить существующий сложный способ получения констант биологической очистки сточных вод активированным илом и в лабораторных условиях и на практике.

Using of the respirometric method at controlling waste water treatment from food industry

Summary

Simple respirometric method for measurement of some activated sludge constants has been built up for single substrates. Verification and application of the method for complex substrates of waste waters from the maize starch production are mentioned in the contribution. The determined values of the yield and decay coefficients are accurate and they correlate with values measured by standard method. A conversion from oxygen to mass units with verified oxygen equivalent has been suggested. The respirometric method can substitute the existing slow determination method of many constants of activation under laboratory conditions, as well as in practice.