

## Testovanie oxygenačných parametrov modelu aktivácie čistenia odpadových vôd

BERNADETTA KRKOŠKOVÁ — MILAN SUHAJ

**Súhrn.** Testovali sa oxygenačné parametre na modelovom laboratórnom zariadení pre biologické čistenie odpadových vôd. Určili sa hodnoty oxygenačnej kapacity a percenta využitia kyslíka pri použití rôznych druhov prevzdušňovacích frít, rôznych prietokov privádzaného vzduchu a dvoch smerov prúdenia. Vplyv týchto variabilít na oxygenačné parametre sa zhodnotil štatisticky.

Aktivačný proces je najčastejšie aplikovaným spôsobom čistenia potravinárskych odpadových vôd s vysokou koncentráciou organického znečistenia. V praxi sa najviac používa kontinuálny aktivačný proces, ktorý pracuje na princípe ideálneho zmiešavania.

Surová odpadová voda sa privádza do aktivačnej nádrže a po zmiešaní s recirkulovaným kalom sa intenzívne prevzdušňuje a premiešava. Tým sa dosiahne rovnaké zloženie v celom objeme a rýchlosť odstraňovania znečistenia je v celej nádrži a po celý čas zdržania konštantná. Aj rýchlosť spotreby kyslíka je v celej nádrži rovnaká. Výhodou tejto modifikácie aktivačného procesu pri aplikácii na potravinárske odpadové vody je, že celý obsah aktivačnej nádrže zrieduje privádzanú odpadovú vodu, a tým redukuje vysoký obsah organických zlúčenín na vhodnú biodegradabilnú koncentráciu [1].

Aby tento aeróbny fermentačný proces mohol optimálne prebiehať, treba privádzať do systému dostatočné množstvo kyslíka pri súčasnom zabezpečení jeho efektívneho využitia pomocou vhodného usporiadania technológie. Určenie oxygenačných parametrov (množstvo privádzaného kyslíka, oxygenačná kapacita, spôsob prestupu kyslíka do odpadovej vody a pod.) pre daný druh odpadových vôd má preto kľúčové postavenie pri návrhu technológie čistenia.

Okrem toho je určenie oxygenačných parametrov, najmä oxygenačnej kapacity dôležité preto, že pomer tejto hodnoty k spotrebe energie určuje hospodárnosť a výkonnosť daného druhu aerobného zariadenia. Pri dosiahnutí

Ing. Bernadetta Krkošková, CSc., Ing. Milan Suhaj, Výskumný ústav potravinársky, Trenčianska 53, 825 09 Bratislava.

maximálneho efektu čistenia udáva hodnotu potrebného množstva privádzaného kyslíka do čistiaceho systému.

V prvej etape výskumných prác sa oxygenačné parametre sledujú laboratórnymi modelovými zariadeniami. Vzhľadom na potreby riešenia úlohy štátneho plánu S-11-529-110-06/03 „Modely a inžiniering technológií čistenia odpadových vôd pivovarského priemyslu“ sme oxygenačné parametre testovali na laboratórnom modelovom zariadení zmiešavacej aktivácie. O výsledkoch týchto sledovaní referujeme v tejto práci.

### Metodika a usporiadanie pokusov

Použitý laboratórny model je modifikáciou zariadenia, ktoré sa používa pri stanovení biologickej odbúrateľnosti tenzidov a prakticky je modelom biologickej aktivačnej čistiare odpadových vôd [2]. Testovacie zariadenie sa skladá z aktivačnej nádrže a oddelenej usadzovacej nádrže. Na recirkuláciu kalu sa používa mamutka, na dávkovanie a reguláciu prívodu surovej odpadovej vody mikročerpadlo. Prevzdušňovanie sa uskutočňuje pneumaticky, akváriovými prevzdušňovačmi. Množstvo vháňaného vzduchu sa meria a reguluje prietokomerom. Rozptýlenie a prestup vzduchu sa realizuje pomocou frít.

V rámci úvodného testovania modelu pred jeho využívaním na simuláciu procesov biologického čistenia sme určili jeho oxygenačné parametre, najmä oxygenačnú kapacitu a percento využitia kyslíka, pri variovaní množstva, smeru prúdenia a prestupu vzduchu.

Oxygenačná kapacita je definovaná ako množstvo kyslíka, ktoré dané zariadenie dodá do jednotkového objemu nádrže za jednotkou času pri nullovej začiatočnej koncentrácii kyslíka [3],

$$OC = K_{La} \cdot C_s,$$

kde  $OC$  je oxygenačná kapacita [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ],  $K_{La}$  — celkový koeficient prestupu kyslíka [ $\text{h}^{-1}$ ],  $C_s$  — rovnovážna koncentrácia kyslíka [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Oxygenačnú kapacitu ( $OC$ ) sme určili za štandardných podmienok vo vodovodnej vode [4] a za prevádzkových podmienok v odpadovej vode z pivovaru v Topoľčanoch. Odkysličenie sme uskutočnili siričitanom sodným. Koncentráciu rozpusteného kyslíka v médiu sme určili oxymetrom MU-66. Prístroj pracuje na polarografickom princípe s kombináciou pevných elektród z ušľachtilých kovov a za stáleho polarizačného napätia a umožňuje určiť percento nasýtenia kyslíkom vzhľadom na rovnovážnu koncentráciu kyslíka pri danej teplote [5].

Oxygenačnú kapacitu sme vypočítali grafickou metódou na základe zistených hodnôt koncentrácie kyslíka v priebehu prevzdušňovania. Zo semilogaritmickej závislosti sa určila hodnota  $\tau_{90}$ , resp.  $K_L a$  a  $OC$  [4]. Na základe zistenej hodnoty  $OC$  sme podľa vzťahu

$$I = 13,9 \frac{OC}{\alpha},$$

kde  $I$  je intenzita aerácie [ $\text{m}^3$  vzduchu/ $\text{m}^3$  nádrže  $\cdot \text{h}^{-1}$ ], určili hodnotu percenta využitia kyslíka  $\alpha$  [3].

Pri určení  $OC$  sme v jednotlivých pokusoch použili na prevzdušňovanie frity priemerov 1, 1,8 a 5,5 cm. Frity boli umiestnené pri dne aktivačnej nádrže v jej strede. Pri každej frite sme preskúšali dva smery prúdenia vzduchu, a to z frity priamo na dno aktivačnej nádrže, resp. po vytočení frity o  $180^\circ$  smerom opačným — nahor. Ďalej sme variovali množstvo privádzaného vzduchu v rozmedzí od 20 do 80  $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ . Objem aktivačnej nádrže bol 1,5 l, výška vodného stĺpca 15 cm. Určenie oxygenačnej kapacity sa robilo pri laboratórnej teplote. Sledovali sa zmeny teploty vody počas určenia a brali sa do úvahy pri výpočte.

Určené hodnoty sa štatisticky vyhodnotili analýzou rozptylu pomocou F-testu na 95 % hladine významnosti [6].

### Výsledky a diskusia

Výsledky určenia oxygenačných parametrov pri variovaní druhu frity, smeru prúdenia a množstva privádzaného vzduchu do aktivačnej nádrže uvádzajú tabuľky 1—5.

Tabuľky 1 a 2 uvádzajú určenie pri použití frity 1 a 2 pri obidvoch smeroch prúdenia vzduchu vyznačených šípkami. Pri použití frity 3 (tab. 3) sa merania uskutočnili len pri prúdení vzduchu smerom nahor, pretože pri opačnom smere prúdenia bubliny vzduchu pod fritou splývali a prevzdušňovanie bolo neúčinné.

Tabuľka 4 uvádza výsledky určenia oxygenačných parametrov v neštandardných podmienkach pri použití odpadovej vody pivovaru v Topolčanoch a adaptovaného kalu z čistiarne komunálnych odpadových vôd v Bratislave-Rači. Pri tomto usporiadaní sa nedali realizovať merania pri nižších prietokoch privádzaného vzduchu pre zanášanie frity kalom.

Výsledky určenia oxygenačných parametrov pri konštantnom prietoku vzduchu v usporiadaní s recirkuláciou a bez recirkulácie odpadovej vody v modeli uvádza tabuľka 5.

Tabuľka 1. Určenie oxygenačných parametrov pri použití frity 1 (priemer 1,0 cm)

Table 1. Determination of oxygenation parameters in using fritted glass 1 (diameter 1.0 cm)

$Q_v$ [l.h <sup>-1</sup> ]	$\downarrow \tau_{90} \uparrow$ [h]		$\downarrow C_s \uparrow$ [g . m <sup>-3</sup> ]		$\downarrow K_{La} \uparrow$ [h <sup>-1</sup> ]		$\downarrow OC \uparrow$ [g . m <sup>-3</sup> . h <sup>-1</sup> ]		$\downarrow \alpha \uparrow$ [%]	
20	0,228	0,165	9,23	8,84	10,1	13,9	93,0	122,9	2,33	3,07
40	0,168	0,126	9,20	9,00	13,7	18,3	125,9	164,3	1,58	2,06
60	0,142	0,10	9,42	9,06	16,2	23,0	152,6	208,4	1,27	1,74
80	0,117	0,095	9,04	8,91	19,7	24,2	177,7	215,6	1,11	1,36

Šípky znázorňujú smer prúdenia vzduchu z frity.

The arrows represent the air flowing direction from the fritted glass.

Tabuľka 2. Určenie oxygenačných parametrov pri použití frity 2 (priemer 1,8 cm)

Table 2. Determination of oxygenation parameters using fritted glass 2 (diameter 1.8 cm)

$Q_v$ [l.h <sup>-1</sup> ]	$\downarrow \tau_{90} \uparrow$ [h]		$\downarrow C_s \uparrow$ [g . m <sup>-3</sup> ]		$\downarrow K_{La} \uparrow$ [h <sup>-1</sup> ]		$\downarrow OC \uparrow$ [g . m <sup>-3</sup> . h <sup>-1</sup> ]		$\downarrow \alpha \uparrow$ [%]	
20	0,205	0,150	8,48	9,32	11,2	15,3	95,1	142,6	2,38	3,57
40	0,150	0,096	8,48	9,25	15,3	23,9	129,9	221,1	1,63	2,76
60	0,118	0,091	8,52	9,23	19,5	25,2	166,1	232,6	1,39	1,94
80	0,113	0,083	8,53	9,21	20,3	27,7	173,6	255,1	1,09	1,60

Šípky znázorňujú smer prúdenia vzduchu z frity.

The arrows represent the air flowing direction from the fritted glass.

Tabuľka 3. Určenie oxygenačných parametrov pri použití frity 3 (priemer 5,5 cm)

Table 3. Determination of oxygenation parameters using fritted glass 3 (diameter 5.5 cm)

$Q_v$ [l . h <sup>-1</sup> ]	$\tau_{90}$ [h]	$C_s$ [g . m <sup>-3</sup> ]	$K_{La}$ [h <sup>-1</sup> ]	$OC$ [g . m <sup>-3</sup> . h <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [%]
20	0,170	8,84	13,5	119,5	2,98
40	0,085	9,00	27,0	243,0	3,01
60	0,075	9,06	30,7	277,8	2,31
80	0,062	8,91	37,1	330,6	2,06

Tabuľka 6 uvádza výsledky štatistického hodnotenia vplyvu variabilít na oxygenačné parametre.

Hodnoty *OC* modelového zariadenia sa jednoznačne zvyšujú so vzrastajúcim prietokom privádzaného vzduchu a priemerom použitej frity. Výrazne vyššie hodnoty *OC* sa zistili pri smere prúdenia vzduchu z frít po vytočení smerom nahor. Spôsobuje to jemnejší rozptyl a efektívnejší prestup kyslíka do prevzdušňovaného média. Získané výsledky naznačujú špecifickú dynamiku zmien *OC* pri rozličných prietokoch vzduchu. Hodnoty *OC* vykazujú prudký vzrast so zvyšujúcim sa objemom vzduchu pri nižších prietokoch. Pri väčších prietokoch a priemeroch frít je vzrast menší, ako by sa predpokladalo. Súvisí to s rýchlym prúdením vzduchu cez vodu, t. j. kratším časom jeho zdržania, čo dokazujú aj hodnoty percenta využitia kyslíka  $\alpha$ , ktoré sú pre vyššie prietoky menšie. Vzhľadom na obidve tieto skutočnosti možno konštatovať, že zvyšovanie objemu vzduchu nad určitú hranicu nemá praktický význam, lebo privádzaný kyslík sa efektívne nevyužije. Táto hraničná hodnota sa dá uspokojivo zistiť ako miesto lokálneho extrému krivky závislosti *OC* od prietoku vzduchu.

Zisťovanie oxygenačných parametrov za štandardných podmienok nie je z hľadiska vypracovania návrhu technológie čistenia odpadových vôd natoľko dôležité ako určenia v prevádzkových podmienkach. Výsledky určenia oxygenačných parametrov pri použití odpadovej vody pivovaru ukázali, že hodnoty *OC* sa so vzrastajúcim objemom privádzaného vzduchu prudko zvyšujú v celom sledovanom rozsahu. V porovnaní s vodovodnou vodou, kde sa hodnota *OC* pri najvyššom objeme privádzaného vzduchu zvyšuje trojnásobne oproti najnižšiemu prietoku, pri použití odpadovej vody sa hodnota *OC* zvyšuje 10-násobne. V porovnaní s vodovodnou vodou úplne opačný trend zmien vykazujú hodnoty percenta využitia kyslíka  $\alpha$  (tab. 4). Tieto hodnoty sa so zvyšujúcim objemom vzduchu výrazne zvyšujú, najmä pri vysokých prietokoch vzduchu. Vysoké hodnoty oxygenačných parametrov možno odôvodniť tým, že odpadová voda je vzhľadom na svoje zloženie a charakter znečistenia kyslíkofilná a sorbuje kyslík biochemickými procesmi a adsorpciou na povrchu častíc. K tomu pristupuje aj vplyv pomalšieho prúdenia vzduchu cez hustejšie médium.

Hodnota koeficientu  $\beta$ , ktorý vystihuje rôznu rozpustnosť kyslíka v odpadovej a vodovodnej vode, v aktivačných nádržiach sa pohybuje v rozmedzí 0,95—1,0. V podmienkach testovania *OC* daného zariadenia sa tento koeficient pohyboval v rozmedzí 0,97—0,98.

Vplyv recirkulácie vody sa podľa očakávania prejavil zhoršením oxygenačných parametrov (tab. 5) vplyvom privádzania kyslíkom nenasýtenej vody z usadzovacej nádrže, kde dôsledkom účinku sedimentujúceho kalu je kyslíkový deficit.

Tabuľka 4. Určenie oxygenačných parametrov pri použití odpadovej vody a frity 3

Table 4. Determination of oxygenation parameters using waste water and fritted glass 3

$Q_v$ [l . h <sup>-1</sup> ]	$\tau_{90}$ [h]	$C_s$ [g . m <sup>-3</sup> ]	$K_{La}$ [h <sup>-1</sup> ]	$OC$ [g . m <sup>-3</sup> . h <sup>-1</sup> ]	$z$ [%]
40	0,150	8,84	15,3	135,5	1,70
60	0,069	8,79	33,3	293,0	2,44
70	0,043	8,74	53,5	467,5	3,34
80	0,019	8,74	121,0	1058,0	6,62

Tabuľka 5. Určenie oxygenačných parametrov pri použití recirkulácie vody a frity 2  
 $Q_v = 80 \text{ l . h}^{-1}$

Table 5. Determination of oxygenation parameters using water recirculation and fritted glass 2,  $Q_v = 80 \text{ l h}^{-1}$

Postup <sup>(1)</sup>	$\tau_{90}$ [h]	$C_s$ [g . m <sup>-3</sup> ]	$K_{La}$ [h <sup>-1</sup> ]	$OC$ [g . m <sup>-3</sup> . h <sup>-1</sup> ]	$z$ [%]
Bez recirkulácie <sup>(2)</sup>	0,118	8,38	19,49	163,3	1,02
S recirkuláciou <sup>(3)</sup>	0,153	8,86	15,03	133,2	0,83

(1)Procedure, (2)Without recirculation, (3)With recirculation.

Tabuľka 6. Štatistické hodnotenie vplyvu variabilít na oxygenačné parametre

Table 6. Statistical evaluation of variabilities influence on oxygenation parameters

Variabilita <sup>(1)</sup>	Vypočítané hodnoty F <sup>(2)</sup>			
	Významnosť vplyvu na: <sup>(3)</sup> oxygenačnú kapacitu <sup>(4)</sup> % využitia kyslíka <sup>(5)</sup>			
	$Q_v$ [l . h <sup>-1</sup> ]			
	20 a 40	60 a 80	20 a 40	60 a 80
	Porovnávacie hodnoty F <sup>(6)</sup>			
	7,71	6,61	7,71	7,71
A (množstvo vzduchu) <sup>(7)</sup>	8,79	1,59	14,53	11,25
B (smer prúdenia) <sup>(8)</sup>	10,70	23,90	16,40	24,40
C (druh frity) <sup>(9)</sup>	1,70	2,19	2,11	2,37
A B	0,68	0,003	0,14	0,56
A C	0,37	0,002	0,005	0,06
B C	1,23	1,20	1,58	0,94

(1)Variability, (2)Calculated F values, (3)Prominence of influence on (4)oxygenation capacity, (5)percentage of oxygen utilization, (6)Comparative F values, (7)A (air amount), (8)B (flow direction), (9)C (the type of fritted glass).

Štatistické zhodnotenie vplyvu variabilít na hodnoty *OC* (tab. 6) ukázalo na 95 % hladine významnosti štatisticky významný vplyv množstva privádzaného vzduchu a smeru prúdenia vzduchu pri nízkych objemoch privádzaného vzduchu ( $20-40 \text{ l. h}^{-1}$ ). Pri vyšších objemoch privádzaného vzduchu sa zistilo, že štatisticky významne vplýva na *OC* iba smer prúdenia vzduchu. Na percento využitia kyslíka  $\alpha$  má štatisticky významný vplyv smer prúdenia vzduchu i jeho množstvo.

## Literatúra

1. SUHAJ, M. — KRKOŠKOVÁ, B.: Prům. Potravn., 34, 1983, s. 213.
2. RADEJ, Z. — ESZÉNYIOVÁ, A.: Vodné Hosp., 8, 1980, rada B.
3. TUČEK, F. — CHUDOBA, J. — KONÍČEK, Z.: Základní procesy a výpočty v technologii vody. Praha, SNTL 1977.
4. PITTER, P. a i.: Návod ke cvičením z technologie vody. Praha, SNTL 1972.
5. Návod k obsluze přístroja MU-66. Praha, Vývojové dílny ČSAV 1966.
6. ČSN 01 0250.

## Проверка оксигенационных параметров модели активации очистки сточных вод

### Резюме

На лабораторном оборудовании для биологической очистки сточных вод тестировались оксигенационные параметры. Были определены значения оксигенационной емкости и процента использования кислорода для случаев применения различных видов воздухововлекающих фритт, разных расходах подводимого воздуха и двух направлений течения. Влияния этих вариантов на оксигенационные параметры были подвергнуты статистической оценке.

## Testing of oxygenation parameters of an activation model in waste water treatment

### Summary

Authors tested oxygenation parameters on a model laboratory equipment for a biological treatment of waste water. The values of oxygenation capacity and the percentage of oxygen utilization in using different types of aerating fritted glasses, different conducted air flows and two directions of streaming were determined. The influence of these variabilities on oxygenation parameters was evaluated statistically.