

## Modelové čistenie pivovarských odpadových vôd II. biologické nárastové reaktory

MILAN SUHAJ — BERNADETTA KRKOŠKOVÁ

Súhrn. Modelovali sa procesy čistenia odpadovej vody pivovaru Vyhne na biologických nárastových reaktoroch. Biofiltrácia sa odskúšala v jednostupňovom a dvojstupňovom usporiadaní. V procese čistenia sa sledovali surové odpadové vody a vody po úprave živín na optimálny pomer. Po dvojstupňovej biofiltrácii sa dosiahol čistiaci efekt 85 %, ktorý sa po úprave živín zvýšil na 96,3 %. Výsledky ukázali, že tento spôsob čistenia je v porovnaní s inými biologickými postupmi oveľa účinnejší a umožňuje dosiahnuť požadovaný stupeň vyčistenia a hodnoty zvyškového znečistenia okolo 44 mg CHSK.l<sup>-1</sup>.

V nadväznosti na výsledky prvej etapy modelového čistenia, v ktorej sme sa zaoberali problematikou aktivačného spôsobu biologického čistenia, sme ďalšie experimentálne práce zamerali na aplikáciu biologických nárastových reaktorov.

Vzhľadom na to, že pri aktivačnom spôsobe čistenia odpadovej vody pivovaru Vyhne sa nedosiahol požadovaný efekt čistenia a hodnoty zvyškového znečistenia, odskúšali sme jednostupňovú a dvojstupňovú biofiltráciu, ako aj zvýšenie účinnosti tejto metódy úpravou pomeru živín v danej odpadovej vode.

V článku uvádzame výsledky modelovania procesu čistenia na biologických nárastových reaktoroch, ktoré boli podkladom pri spracovaní návrhu technológie čistenia odpadovej vody pivovaru Vyhne.

---

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

## Materiál a metóda

Biofiltračné zariadenia sme modelovali ako segment skutočného reaktora vo forme sklenej kolóny s náplňou z plastickej hmoty. Výška laboratórnych biofiltrov bola 1,2 a 2 m; priemer kolón 4,6 cm. Ako náplň sme použili valčeky z plastickej hmoty s vlnitým povrchom výšky 0,5 až 1 cm a priemeru 2,8 cm. Špecifický povrch tohto materiálu je približne  $300 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ , resp.  $2,08 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ . Váha náplne bola  $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  objemu biofiltra.

Hydraulické zaťaženie obidvoch biofiltrov sa pohybovalo od 1 do  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Látkové zaťaženie bolo na prvom biofiltre od 0,5 až  $3 \text{ kg CHSK} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}$ , na druhom 0,1 až  $1,5 \text{ kg CHSK} \cdot \text{m}^{-3}$ . Podobne ako v prípade aktivácie sme v prvej fáze modelovali čistenie reálnych vôd, pri ktorých sme pred vstupom na biofilter upravovali hodnotu pH tak, aby bola v rozmedzí hodnôt vhodných na biologické čistenie (pH 6—8). V ďalšej etape modelovania sme upravovali pomer živín v surovej odpadovej vode prídavkom fosforu vo forme fosforečnanu draselného a dusíka vo forme síranu amónneho. Obsah živín sme upravovali v pomere  $\text{CHSK} : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$ .

Biofiltráciu sme modelovali v jednostupňovom a dvojestupňovom usporiadaní. V priebehu čistenia sme sledovali ukazovatele znečistenia — pH, CHSK,  $\text{BSK}_5$ , fosforečnany a amoniak podľa JAM.

## Výsledky a diskusia

Výsledky modelovania čistenia na biologických nárástových reaktoroch zhrňajú tabuľky 1—3.

V tabuľkách 1 a 2 uvádzame zmeny parametrov znečistenia a čistiacie efekty pri jednostupňovej biofiltrácii bez úpravy a s úpravou pomeru biogénnych prvkov v odpadovej vode vstupujúcej do modelového zariadenia. Priemerná hodnota CHSK vstupujúcej vody bola v prvom prípade  $937 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  (tab. 1). Po prechode biofiltrom sa táto hodnota znížila na priemerných  $332 \text{ mg CHSK} \cdot \text{l}^{-1}$ , čím sa dosiahol čistiaci efekt okolo 67 %. Podľa týchto výsledkov nie je jednostupňová biofiltrácia postačujúca na dosiahnutie požadovaného stupňa vyčistenia, ale je to účinnejší spôsob čistenia ako jednostupňová aktivácia, pretože sa dosiahol o 10 % vyšší čistiaci efekt.

Tabuľka 2 uvádza výsledky sledovania jednostupňovej biofiltrácie po úprave vstupujúcej odpadovej vody na požadovaný pomer potrebných živín. Možno konštatovať, že fortifikácia sa priaznivo prejavila v účinnosti jednostupňového

Tabuľka 1. Výsledky modelovania jednostupňovej biofiltrácie bez úpravy biogénnych prvkov  
Table 1. The results of modelling the one-stage biofiltration without the treatment of biogenous elements

Číslo pokusu <sup>1</sup>	pH		CHSK <sup>4</sup> mg.l <sup>-1</sup>		Efekt čistenia <sup>5</sup> [%]
	vstup <sup>2</sup>	výstup <sup>3</sup>	vstup <sup>2</sup>	výstup <sup>3</sup>	
1	7,1	7,9	1444	654	55
2	7,2	7,6	1284	704	45
3	5,7	6,4	891	237	73
4	6,6	8,1	950	238	75
5	6,9	7,9	475	178	63
6	6,1	6,8	657	371	44
7	6,4	7,2	773	455	41
8	7,2	7,0	1122	600	47
9	7,0	7,8	529	318	40
10	6,4	7,4	561	243	57
11	6,3	7,4	582	85	85
12	6,6	8,1	720	31	96
13	7,5	7,3	1089	188	83
14	7,2	7,9	1139	238	79
15	7,6	7,8	935	86	91
16	7,7	8,1	1132	302	73
17	7,8	7,9	754	614	46
18	7,2	8,1	323	5,4	99
19	6,7	7,9	679	129	60
20	6,4	8,2	733	2	99
21	5,6	6,1	1479	571	59
22	7,5	7,6	1185	787	43
23	6,5	7,4	1310	618	53
24	7,1	7,8	786	128	84
25	7,1	8,3	1226	21	98
26	6,1	7,7	836	102	88
27	7,5	7,5	1153	173	86
28	7,5	7,4	1051	510	52
29	6,8	6,4	2063	1104	47
30	6,6	7,1	708	186	74
31	6,5	7,1	573	396	31
32	7,3	7,4	1438	313	78
33	6,7	6,9	1646	406	75
$\bar{x}$	6,9	7,5	937	332	67

<sup>1</sup>Number of experiment; <sup>2</sup>Input; <sup>3</sup>Output; <sup>4</sup>COD; <sup>5</sup>Purifying effect.

čistenia na biofiltri, keďže priemerné zvyškové znečistenie bolo 250 mg CHSK.l<sup>-1</sup>, pri priemernej hodnote znečistenia na vstupe 970 mg CHSK.l<sup>-1</sup>. Tomu zodpovedá 75 % efekt čistenia, ktorý je o 10 % vyšší v porovnaní s čistením neupravenej vody.

Vzhľadom na to, že sa jednostupňovou biofiltráciou ani po úprave živín nedosiahol požadovaný stupeň vyčistenia, prišli sme k modelovaniu dvojtupňovej biofiltrácie. Dosiahnuté výsledky sú v tabuľke 3. Po dvojtupňovej biofiltrácii bez úpravy živín sa dosiahol čistiaci efekt 85 %. Po obohatení odpadovej vody živinami v optimálnom pomere sa dosiahol veľmi dobrý efekt čistenia — 96,3 % a hodnota zvyškového znečistenia 44 mg CHSK.l<sup>-1</sup>.

Tabuľka 2. Výsledky modelovania jednostupňovej biofiltrácie s úpravou pomeru biogénnych prvkov  
 Table 2. The results of modelling the one-stage biofiltration with the treatment of the relation of biogenous elements

Číslo pokusu <sup>1</sup>	pH		CHSK <sup>4</sup> [mg.l <sup>-1</sup> ]		Efekt čistenia <sup>5</sup> [%]
	vstup <sup>2</sup>	výstup <sup>3</sup>	vstup <sup>2</sup>	výstup <sup>3</sup>	
1	6,8	7,8	815	237	71
2	6,1	6,8	826	52	94
3	7,6	7,4	929	93	90
4	6,5	7,3	815	72	91
5	7,2	7,2	600	112	81
6	7,5	7,7	590	112	78,8
7	6,9	6,9	571	82	86
8	7,1	7,1	515	347	33
9	7,0	7,1	612	143	77
10	7,2	7,9	1653	582	54
11	7,4	7,9	1762	99	94
12	7,2	7,3	1100	109	90
13	7,0	7,1	1404	450	68
14	7,1	7,9	1549	436	72
15	8,2	7,3	1084	310	71
16	7,1	7,3	368	213	42
17	7,2	7,4	968	97	90
18	7,1	8,1	1139	188	83
19	7,3	7,3	1381	433	69
20	7,7	7,6	1031	196	81
21	7,5	7,5	1071	102	91
22	7,6	7,7	612	51	92
23	7,5	5,8	816	41	95
24	7,8	6,6	1031	41	96
25	9,5	5,8	979	175	82
26	7,2	7,5	732	474	35
27	6,9	6,9	1870	650	65
28	6,8	6,7	530	150	73
29	6,6	7,1	906	112	88
30	6,9	6,7	1364	142	90
31	5,7	6,9	1517	988	35
32	7,6	6,8	860	412	52
$\bar{x}$	7,2	7,1	971	248	75

For explanations see Table 1.

Optimalizácia pomeru živín v surovej odpadovej vode sa výrazne prejavila zvýšením účinnosti čistenia. Na druhej strane sa však nepriaznivo odrazí vo zvýšenom obsahu solí vo vyčistenej vode, čím sa vytvorí vhodné podmienky pre podporu eutrofizačného procesu v recipiente.

Hodnoty pH alkalických odpadových vôd sme pred vstupom do modelu upravovali na hodnoty v rozsahu neutrálneho pH. V priebehu čistenia na bio-filtroch sa hodnoty pH v malej miere zvyšovali. Vody vystupujúce najmä po druhom stupni biofiltrácie mali pH v priemere okolo 8, čo je v rámci povolennej tolerancie pre vypúšťanie odpadovej vody do recipientu. Zistený trend

Tabuľka 3. Výsledky modelovania dvojstupňovej biofiltrácie  
Table 3. The results of modelling the two-stage biofiltration

Číslo pokusu <sup>1</sup>	pH		CHSK <sup>4</sup> [mg.l <sup>-1</sup> ]		Efekt čistenia <sup>5</sup> [%]
	vstup <sup>2</sup>	výstup <sup>3</sup>	vstup <sup>2</sup>	výstup <sup>3</sup>	
Bez úpravy biogénnych prvkov					
1	7,1	8,5	1226	11	99
2	7,5	8,6	429	82	81
3	6,1	8,7	836	51	94
4	7,5	8,3	1153	51	96
5	7,5	7,9	1051	235	78
6	6,8	7,5	2063	708	66
7	6,3	7,4	396	75	81
8	6,6	7,1	708	135	81
9	6,5	8,1	573	188	67
10	7,2	8,3	1438	135	91
11	6,7	8,3	1646	32	98
	6,9	8,1	1047	182	85
S úpravou pomeru biogénnych prvkov <sup>7</sup>					
1	7,3	8,4	1381	186	87
2	7,7	8,4	1031	31	97
3	7,5	8,7	1071	31	97
4	7,6	8,6	612	10	98
5	7,5	8,6	816	10	99
6	7,8	7,4	1031	10	99
7	9,5	8,9	979	52	95
8	7,2	8,4	732	82	89
9	6,9	8,4	1870	170	91
10	6,8	8,2	530	10	98
11	6,6	7,9	906	5	99
12	6,9	7,8	1364	10	99
13	5,7	8,2	1517	2	100
14	7,6	8,2	865	95	99
$\bar{x}$	7,3	8,3	1050	44	96

For explanations 1—5 see Table 1. <sup>6</sup>Without the treatment of biogenous elements; <sup>7</sup>With the treatment of the relation of biogenous elements.

zvyšovania pH v priebehu čistenia odpadových vôd pivovaru Vyhne súvisí najpravdepodobnejšie s pôvodne alkalickým charakterom surových odpadových vôd tohto závodu a je v súlade so zisteniami iných autorov [1, 2].

Pri aplikácii biofiltrácie sa občas vyskytoval hydrobiologický problém výskytu a pomnoženia roztočov, najmä v prípadoch po vytvorení mohutnej bioblany na povrchu náplne biofiltrov, ako aj v dôsledku dlhšie trvajúceho zníženia látkového zataženia. Po rozmnožení roztočov nastalo v dôsledku ich

činnosti rozrušovanie bioblany a jej vyplavovanie zo systému. Tento problém nie je tak ťažko zvládnuteľný ako napučíavanie kalu pri aktivačnom spôsobe a nemal by sa vyskytovať pri správnom prevádzkovaní biofiltra a pri dodržaní požadovaných hydraulických parametrov a stabilnej úrovne látkového zafaženia. V nevyhnutných prípadoch možno použiť bežné sanitačné opatrenia.

Výsledky získané modelovaním biofiltračného spôsobu čistenia odpadových vôd ukázali, že tento postup je v porovnaní s aktiváciou účinnejší, ľahšie sa dá ovládať a je energeticky menej náročný. Po úprave živín v surovej vode na optimálny pomer sa pri dvojstupňovom usporiadaní dosiahol požadovaný stupeň vyčistenia.

## Literatúra

1. SASAHARA, T. — ARA, T. — KITAMURA, Y., Res. Lab. Kirin Brewery Co., Ltd, 1974, č. 17, s. 39.
2. SASAHARA, T., HAYASHI, S., OGAWA, T., Brauwissenschaft, 35, 1982, č. 12, s. 302.

### Модельная очистка пивоваренных сточных вод

#### II. Биологические реакторы

##### Резюме

Модельную очистку сточных вод пивоваренного завода Выгне проводили на биологических реакторах. Биологическую очистку применяли в одно- и двухступенчатом порядке. В процессе очистки наблюдали за сырыми сточными водами и водами после обогащения питательных веществ на оптимальный режим. После двухступенчатой биологической очистки достигли 85 %-ное действие очистки и это после обогащения питательных веществ повысилось до 96,3 %. Результаты показали, что этот способ очистки по сравнению с другими биологическими методами более действенный и позволяет достигнуть требуемой степени очистки и остаточной стоимости загрязнения около 44 мг ХСР . л<sup>-1</sup>.

### Model treatment of brewery waste waters

#### II. Biological growth reactors

##### Summary

The processes of treating the waste waters in Vyhne brewery were modelled on biological growth reactors. Biofiltration has been tested in single and double stage arrangement. During treatment the raw waste waters as well as the waters after the treatment of nutrients to optimum reaction were followed. The effect obtained after two-stage biofiltration represented 85% and it was raised after treatment of nutrients to 96.3%. The results have shown that this way of treatment is much more effective as compared to other biological procedures and it enables to achieve the required degree of purity as well as the value of residual contamination being about 44 mg of COD.l<sup>-1</sup>.