Zhodnotenie práce biologickej čističky odpadových vôd a produkcie bioplynu

EVALUATION OF THE BIOLOGICAL WATERWASTE TREATMENT PLANT AND ITS BIOGAS PRODUCTION

Marek Bennár[1,3], Tatiana Bojňanská[1], Daniel Vidal[3], Júlia Hambálková[2], Štefan Tóth[2], Antonín Richter[2]
[1]Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, [2]Slovenské cukrovary s. r. o. Sereď, [3]Universidad Politécnica de Valencia, Španielsko

Potravinárske technológie spravidla produkujú v rámci spracovateľských procesov odpady, ktorých likvidácia prináša so sebou určité organizačné problémy a finančné náklady. Pri procese spracovania cukrovej repy vznikajú okrem iného odpadové vody, ktoré sú produktom prania a transportu cukrovej repy, kondenzáty, chladiace vody atď. (4). V rámci cukrovaru sú najviac znečistené odpadové vody pochádzajúce z prania a transportu repy. Jednou z možností stanovenia stupňa znečistenia odpadových vôd je chemická spotreba kyslíka CHSK, ktorej hodnoty sa značne líšia v závislosti od rozsahu mechanického poškodenia cukrovej repy (9), konštrukcie žľabov a pračiek cukrovej repy, doby, počas ktorej cukrová repa zostáva vo vode, teploty vody, pH vody a chemického zloženia cukrovej repy. V cukrovaroch spracúvajúcich cukrovú repu aj cukrovú trstinu sú používané rovnaké technológie čistenia odpadových vôd, väčšinou anaeróbne (3). Odpadové vody môžu byť biologicky ošetrené viacerými spôsobmi, ktoré zahŕňajú postrekové alebo povrchové zavlažovanie, využitie vodných nádrží a aktívne kalové procesy (8).

Postrekové alebo povrchové zavlažovanie je používané pomerne obmedzene (v USA a Európe), hlavne z dôvodu absencie vhodných odvodňovacích kanálov potrebných pre likvidáciu odpadových vôd (1). V rámci tejto metódy sú z odpadových vôd využívané živiny vhodné a potrebné pre pestovanie autotrofných rastlín. Takéto zavlažovanie je možné vykonávať počas cukrovarníckej kampane, ale aj po jej ukončení.

Rybníky – využitie vodných nádrží (rybníkov) je ekologicky veľmi bezpečné, pretože záverečné vypustenie je realizované iba vtedy, ak bol dosiahnutý požadovaný stupeň čistoty (6). Používané sú dva typy rybníkov, a to okysličované a neokysličované.

Aktívne procesy – cukrovary využívajú aktívne kalové procesy pri čistení takých odpadových vôd, ktoré spravidla už prešli anaeróbnou predúpravou v reaktoroch alebo boli zmiešané s vodou v rybníkoch, resp. v iných nádržiach. V súčasnosti je cieľom spracovávať všetky odpadové vody kontinuálne, aby boli eliminované priebežne počas kampane.

Aby bola zabezpečená plná čistiaca kapacita pri aktívnych procesoch čistenia odpadových vôd je nevyhnutná na začiatku kampane určitá doba adaptácie (7). Odpadová voda, ktorá nie je anaeróbne predčistená môže spôsobovať zhoršenie flóry aktívneho kalu, čo má negatívny efekt na sedimentáciu a degradáciu kalov (5).

Anaeróbnym čistením odpadových vôd dochádza k biologickému rozkladu organických a anorganických zlúčenín bez prítomnosti kyslíka. Anaeróbny rozklad je jednou z najstarších metód aplikovaných na stabilizáciu koncentrovaných kalov, počas ktorej sa organická hmota biologicky premení na mikrobiálnu hmotu a zároveň dochádza k produkcii oxidu uhličitého (CO_2) a metánu (CH_4), čo je spaľovateľný plyn. Tento proces je uskutočňovaný v anaeróbnom reaktore, v ktorom je biomasa úplne izolovaná od atmosféry. Odpadové vody sú čistené v anaeróbnom reaktore kontinuálne, s rozdielnou dobou zadržiavania odpadovej vody v reaktore (2).

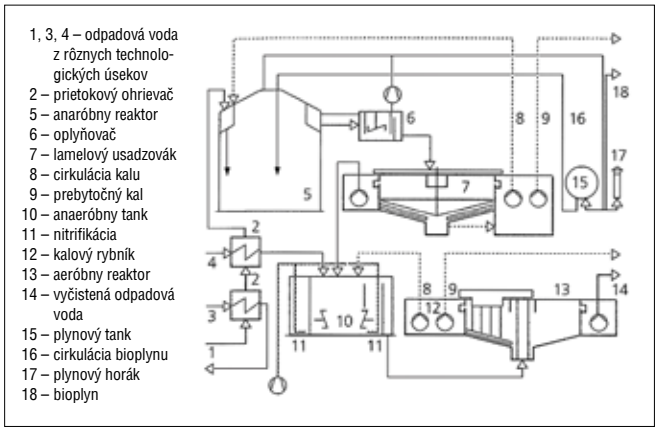
Hlavnou výhodou realizácie anaeróbnej predúpravy odpadových vôd je produkcia bioplynu, ktorý je možné ďalej využívať na produkciu pary, ohrievanie vôd a pod.

Jedným z dôležitých faktorov, ktoré vplývajú na fungovanie cukrovaru, je v súčasnosti minimalizácia nákladov na jeho prevádzku. Čistením odpadových vôd dochádza k produkcii bioplynu, využitím ktorého môžu byť náklady do značnej miery znížené. Cieľom publikovaného príspevku je prezentovať výsledky týkajúce sa možností využitia čistenia odpadových vôd na produkciu bioplynu a jeho následného ďalšieho využitia v cukrovarníckej technológii.

Materiál a metodika

V sledovanom období, tj. každý deň od začiatku kampane až do konca novembra (spolu 51 dní), boli odoberané vzorky odpadovej vody, odpadovej vody z anaeróbneho reaktora, odpadovej vody z lamelového usadzováka, odpadovej vody z aeróbneho reaktora a očistenej odpadovej vody, v ktorých bola stanovovaná chemická spotreba kyslíka $CHSK_{Cr}$ ($mg.dm^{-3}$ O_2), ďalej nerozpustné látky (NL, $mg.dm^{-3}$), pH, celkový dusík (N, $mg.dm^{-3}$),

Obr. 1. Prúdový diagram čističky odpadových vôd (2)



Obr. 2. Anaeróbny reaktor BIČOV v cukrovaru Sereď

fosfor (P, mg.dm^{-3}) dusík vo forme amónneho katiónu NH^{4+} (mg.dm^{-3}) a prietokovými meračmi boli zistené množstvá odpadovej vody, vyčistenej odpadovej vody a vyprodukovaného bioplynu.

$CHSK_{Cr}$ (chemická spotreba kyslíka dichrómanom draselným)

Metóda je založená na oxidácii organických látok obsiahnutých vo vzorke vody dichrómanom draselným v silne kyslom prostredí kyseliny sírovej pri dvojhodinovom vare (pri teplote cca 148 °C). Oxidácia organických látok je katalyzovaná iónmi striebra Ag^+ a prebieha v nadbytku dichrómanu. Pri oxidácii oxidovateľných látok prítomných vo vzorke sa dichómanové ióny redukujú na chromité. Nespotrebované množstvo dichrómanu sa po ukončení oxidácie zistí odmerným stanovením, a to titráciou odmerným roztokom síranu železnatoamónneho na indikátor feroín (o-fenantrolin tvorí s iónmi Fe^{2+} červenú komplexnú zlúčeninu). Vplyv chloridov sa eliminuje prídavkom síranu ortuťnatého. Pri stanovení prebiehajú nasledovné reakcie: Pri oxidácii organických látok:

$$Cr_2O_7^{2-} + 6\,e^- + 14\,H^+ = 2\,Cr^{3+} + 7\,H_2O$$

Pri titrácii dichrómanu odmerným roztokom síranu železnatoamónneho:

$$Cr_2O_7^{2-} + 6\,Fe^{2+} + 14\,H^+ = 2\,Cr^{3+} + 6\,Fe^{3+} + 7\,H_2O$$

Pri štandardnom stanovení CHSK sa väčšina organických látok oxiduje na 90 % a viac. Výpočet $CHSK_{Cr}$ (mg.dm^{-3}):

$$CHSK_{Cr} = \frac{8\,000\,.\,c\,.\,(V_1 - V_2)}{V_0}$$

c – koncentrácia síranu železnatoamónneho v móloch na liter:

$$c = \frac{10\,.\,0{,}040\,.\,6}{V} = \frac{2{,}4}{V}$$

kde:

V – objem spotrebovaného roztoku síranu železnatoamónneho v cm^3,

V_0 – skúšobný objem vzorky v cm^3 pred riedením (ak sa uskutočnilo),

V_1 – objem síranu železnatoamónneho v cm^3 spotrebovaného pri titrácii pri slepom pokuse,

V_2 – objem síranu železnatoamónneho v cm^3 spotrebovaného pri titrácii pri analýze skúšobného objemu vzorky, 8000 = = mólová hmotnosť ½O_2 v mg·mol^{-1}.

Stanovenie nerozpustných látok NL pomocou olejovej vývevy

Stanovenie NL filtráciou cez membránový filter Pragopor s priemerom 45 mm a s veľkosťou pórov 0,85–2,5 μm pomocou olejovej vývevy a následným zvážením vysušeného filtra s nerozpustnými látkami. Výpočet NL (mg.dm^{-3}):

$$NL = \frac{1\,000\,.\,(b - a)}{V}$$

kde: a – hmotnosť vysušeného papierového filtra v mg,
b – hmotnosť vysušeného papierového filtra s NL v mg,
V – objem vzorku odmeraného k rozboru v cm^3.

Stanovenie pH

Hodnota pH je definovaná ako záporný dekadický logaritmus aktivity oxóniových katiónov. V zriedených vodných roztokoch sa dá hodnota aktivity aproximovať hodnotou látkovej koncentrácie a potom platí:

$$pH = -\log 10\,[H^+],$$

H^+ – relatívna koncentrácia vodíkových katiónov (bezrozmerné).

Stanovenie celkového dusíka N, celkového fosforu P a amoniakálneho dusíka NH^{4+}

Na stanovenie celkového dusíka, celkového fosforu a amoniakálneho dusíka bol použitý spektrofotometrický set Spectroquant® Pharo 100 od firmy Merck, SRN.

Celkový dusík N

Organické a anorganické zlúčeniny dusíka sa premieňajú na dusičnany podľa Koroleff metódy reakciou s oxidačným činidlom v termoreaktore. V roztoku kyseliny sírovej a fosforečnej tieto dusičnany reagujú s 2,6-dimetylfenolom (DMP) na 4-nitro-2,6-dimetylfenol, ktorý je stanovovaný fotometricky. Metóda je v súlade s EN ISO 11905-1.

PO_4^{3-}

V roztoku kyseliny sírovej ióny fosforečnanov reagujú s iónmi molybdénanov za tvorby kyseliny molybdénofosforečnej. Kyselina askorbová redukuje túto kyselinu, čím dôjde k sfarbeniu spôsobenému fosformolybdénovou modrou (PMB), ktoré je následne stanovované fotometricky. Táto metóda zodpovedá metódam EPA 365.2 +3, USA Standard Methods 4500-PE, ISO 6878/1 a EN 1189.

NH_4^+

Amoniak (NH_4^+) sa vyskytuje vo forme amónnych iónov a čiastočne ako amoniak. V závislosti od pH existuje rovnováha medzi oboma formami. V silne alkalickom roztoku sa amoniakálny dusík vyskytuje takmer výlučne ako amoniak, ktorý reaguje s chlórovým činidlom na monochlóramín. Ten reaguje s tymolom za tvorby derivátu indofenoulu modrej farby, ktorý je stanovovaný fotometricky. Táto metóda zodpovedá metódam EPA 350,1, APHA 4500-NH3 D, a ISO 7150/1.

Účinnosť anaeróbnej časti čističky odpadových vôd

$$\text{Účinnosť (\%)} = \left(\frac{\text{CHSK}_{\text{Cr odpadová voda}} - \text{CHSK}_{\text{Cr lamelový usadzovák}}}{\text{CHSK}_{\text{Cr odpadová voda}}}\right) . 100$$

Účinnosť aeróbnej časti čističky odpadových vôd

$$\text{Účinnosť (\%)} = \left(\frac{\text{CHSK}_{\text{Cr lamel. usadzovák}} - \text{CHSK}_{\text{Cr vyčistená odp. voda}}}{\text{CHSK}_{\text{Cr lamelový usadzovák}}}\right) . 100$$

Účinnosť biologickej čističky odpadových vôd (celková)

$$\text{Účinnosť (\%)} = \left(\frac{\text{CHSK}_{\text{Cr odpadová voda}} - \text{CHSK}_{\text{Cr vyčistená odpad. voda}}}{\text{CHSK}_{\text{Cr odpadová voda}}}\right) . 100$$

Štatistické vyhodnotenie výsledkov

Na štatistické vyhodnotenie výsledkov bol použitá metóda analýzy rozptylu (ANOVA Simple) pomocou programu Statgraphics PLUS 5.1.

Výsledky a diskusia

V rámci technológie získavania sacharózy z cukrovej repy bola v analyzovanom podniku zaradená čistička odpadových vôd, v ktorej sa počas činnosti zhromaždí značné množstvo znečistenej vody pochádzajúcej hlavne z procesu prania cukrovej repy (8). Túto vodu je nevyhnuté čistiť, a aby ju bolo možné ďalej vypúšťať, musí spĺňať požadované limitné hodnoty. V rámci našej výskumnej práce namerané priemerné hodnoty ukazovateľov znečistenia vypúšťaných odpadových vôd počas hodnoteného obdobia (tab. I.) aj napriek značným výkyvom spĺňali stanovené limitné hodnoty. Výkyvy nameraných hodnôt boli spôsobené rôznym stupňom znečistenia odpadových vôd, ktorý počas daného obdobia značne kolísal v závislosti od mnohých faktorov, napr. od klimatických podmienky počas kampane, stupňa znečistenia cukrovej repy, účinnosti biologickej čističky odpadových vôd atď.

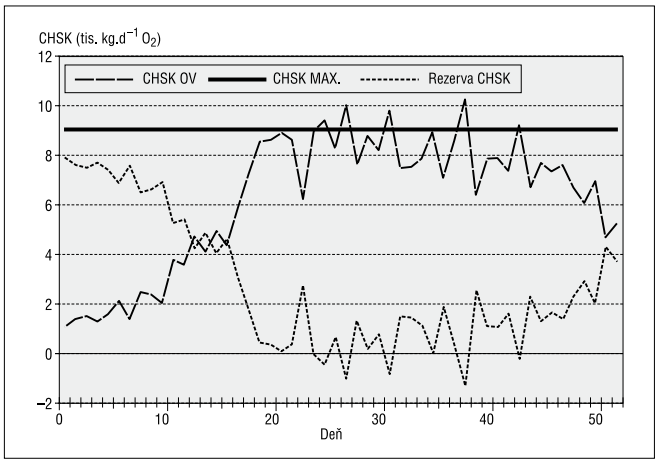
Tab. I. Limitné hodnoty a namerané priemerné hodnoty ukazovateľov znečistenia vypúšťaných odpadových vôd počas hodnoteného obdobia

Ukazovateľ	Limitné hodnoty*	Priemerné hodnoty
pH	6,0–9,0	7,39 ±1,12
$CHSK_{Cr}$ ($mg.dm^{-3}$)	max. 200,0	93,7 ±43,4
NL ($mg.dm^{-3}$)	max. 60,0	30,9 ±27,5
NH_4^+ ($mg.dm^{-3}$)	max. 10,0	8,18 ±1,19
N celk. ($mg.dm^{-3}$)	max. 20,0	9,5 ±6,5
P celk. ($mg.dm^{-3}$)	max. 3,0	2,5 ±0,5

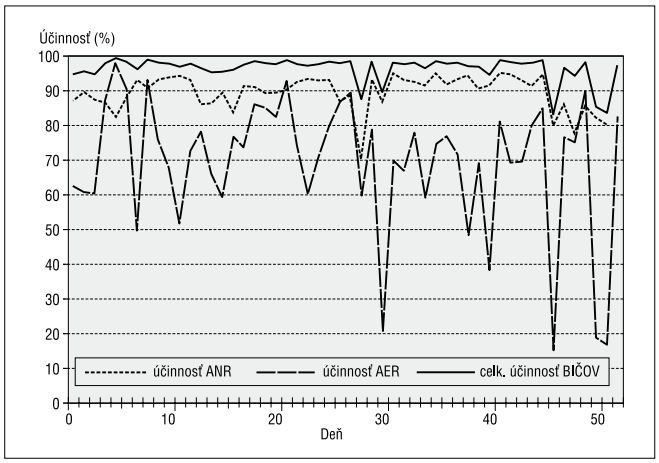
* *Limitné hodnoty ukazovateľov znečistenia vypúšťaných odpadových vôd, nariadenie vlády č. 296/2005 Z. z.*

Pri biologickom čistení odpadových vôd dochádza počas anaeróbneho čistenia k tvorbe tzv. bioplynu, ktorý sa po menších úpravách môže plnohodnotne používať v cukrovarníckom priemysle. V rámci činnosti biologickej čističky odpadových vôd, ktorá je súčasťou cukrovaru, v ktorom boli realizované

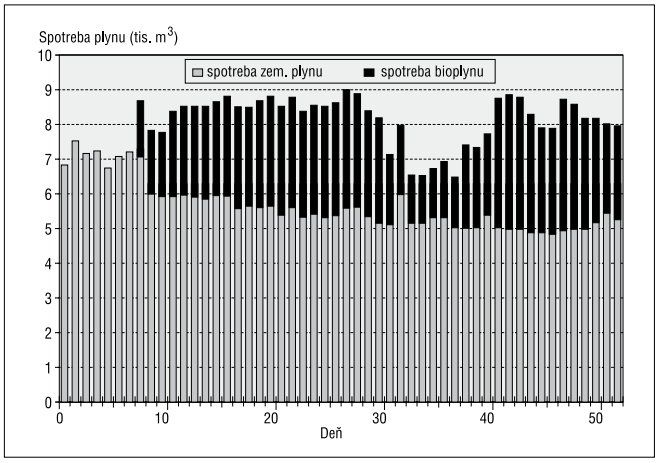
Obr. 3. Kapacita BIČOV počas daného obdobia



Obr. 4. Účinnosť BIČOV počas daného obdobia



Obr. 5. Spotreba plynu počas daného obdobia



prezentované hodnotenia, je možné dosiahnuť značnú produkciu ďalej využiteľného bioplynu.

Pre hodnotenú linku sú stanovené maximálne limitné hodnoty pre znečistenie odpadových vôd (nariadenie vlády č. 296/2005 Z. z.) a kapacitné limity: maximálne 2 000 m^3 odpadových vôd na deň s maximálnym znečistením podľa $CHSK_{Cr}$ 4 500 mg.dm^{-3} O_2.

Z uvedeného vyplýva, že denná kapacita biologickej čisticky odpadových vôd je podľa $CHSK_{Cr}$ 9 000 kg.d^{-1} O_2. Domnievame sa, že pri nižších hodnotách $CHSK_{Cr}$ je možné vyčistiť vyššie množstvo odpadových vôd a naopak, pri vyšších hodnotách $CHSK_{Cr}$ je správne fungovanie biologickej čisticky odpadových vôd limitované nižším množstvom odpadových vôd. Z toho vyplýva možnosť prekročenia jedného z dvoch limitujúcich faktorov. Na základe priebehu grafu uvedeného na obr. 3. je možné sledovať, ako sa menila kapacita biologickej čisticky odpadových vôd počas hodnoteného obdobia.

Počas kampane bolo postupne zvyšované znečistenie odpadových vôd, a to hlavne kvôli náročnejšiemu praniu repy, pretože do cukrovaru bola privážaná stále viac a viac znečistená cukrová repa. Zvyšujúce sa znečistenie cukrovej repy bolo zapríčinené hlavne počasím, pretože na začiatku kampane ešte pretrvávalo priaznivé počasie na zber repy, avšak v neskorších dňoch sa počasie zhoršovalo a privezená repa obsahovala viac anorganických aj organických nečistôt.

Napriek uvedenému bolo na základe meraní a výpočtov zistené, že iba počas piatich dní (zo sledovaného obdobia kampane) bola prekročená stanovená kapacita biologickej čističky odpadových vôd. Vo zvyšných dňoch boli zistené značné rezervy v rámci kapacity pre biologickú čističku, ktoré boli hlavne na začiatku kampane pomerne vysoké, čo bolo spôsobené spracovávaním čistejšej cukrovej repy.

Na základe uvedených skutočností je možné skonštatovať, že prevádzka čističky odpadových vôd bola primerane využitá.

Na obr. 4. je znázornená účinnosť čističky pre jednotlivé etapy čistenia odpadových vôd. Pri anaeróbnom čistení (ANR) sa účinnosť pohybovala v hodnotách prevažne od 86 % do 95 %, iba vo výnimočných prípadoch bola nižšia. Išlo o jednorazové prípady vysokého zaťaženia čističky spôsobené prekročením kapacít, resp. ku koncu hodnoteného obdobia došlo k odstávke vo výrobe, čo sa prejavilo znížením účinnosti, keďže počas odstávky nedochádzalo k znečisťovaniu zvyčajného množstva vody. V tomto prípade pokles účinnosti súvisel s požiadavkou anaeróbneho reaktora na minimálne množstvo odpadovej vody, ktoré musí denne spracovať, a to 700 m^3.

Pri účinnosti aerobného reaktora (AER) boli zaznamenané značné výkyvy (obr. 4.). Domnievame sa, že boli spôsobené nesprávnym fungovaním lamelového usadzováka, pretože ním prechádzali tuhé nečistoty, ktoré sa mali v ňom usadzovať a opätovne putovať do anaeróbneho reaktora.

Celková účinnosť reaktora bola počas celého obdobia vyššia ako 95 % a iba v dvoch prípadoch bola významne nízka, čo bolo spôsobené už spomínaným výpadkom produkcie a nedodržaním kapacity biologickej čističky odpadových vôd.

Počas čistenia odpadových vôd v anaeróbnom reaktore je ako výsledok anaeróbneho čistenia produkovaný bioplyn. Počas prvých dní kampane, keď ešte biologická čistička odpadových vôd nebola v optimálnych prevádzkových podmienkach, bola aj produkcia bioplynu veľmi nízka. Postupným zvyšovaním zaťaženia čističky sa zvyšovala aj produkcia bioplynu (obr. 5.), a tým aj možnosť jeho využitia v cukrovare. Bioplyn bol spaľovaný a vyprodukované teplo bolo využívané na ohrev vody, ktorá je v cukrovarníckom procese absolútne nevyhnutná. Z možnosťou čistenia odpadových vôd a následnou produkciou bioplynu bolo v daných podmienkach získaných denne priemerne 2 700 m^3 bioplynu, čo počas hodnoteného obdobia vykrývalo až jednu tretinu nákladov na zakúpenie zemného plynu nevyhnutného pre fungovanie cukrovarníckej výroby.

Možnosť získavania bioplynu v cukrovare je značným ekonomickým prínosom, ktorý má v dnešnej dobe pri zvyšovaní cien energií neoceniteľnú úlohu pri regulácii výdavkov určených na fungovanie cukrovaru. Aj z hľadiska ekológie je využívanie obnoviteľných zdrojov energie pre cukrovarnícky priemysel prospešné, pretože šetrí životné prostredie.

Záver

V rámci zhodnotenie práce biologickej čisticky odpadových vôd a jej produkcie bioplynu bola potvrdená nevyhnutnosť prevádzky čističky odpadových vôd v cukrovare. Čistička odpadových vôd kapacitne postačovala na čistenie odpadových vôd vznikajúcich pri procese prania vstupnej suroviny. Na stabilné dosahovanie požadovanej účinnosti je však nevyhnutné zvýšiť kapacitu lamelového usadzováka, čím by sa zamedzilo občasnej vysokej kontaminácii odpadových vôd. Čistička odpadových vôd produkuje bioplyn, ktorý významne pokrýva nároky cukrovaru na energie, čím znižuje spotrebu zemného plynu. Na základe vyhodnotenia výsledkov činnosti čističky odporúčame zvýšiť jej kapacitu a v dôsledku toho zvýšiť produkciu bioplynu ako významného faktora energetickej sebestačnosti spracovateľského podniku.

Súhrn

Jedným z dôležitých faktorov, ktoré vplývajú na fungovanie cukrovaru, je v súčasnosti minimalizácia nákladov na jeho prevádzku. Čistením odpadových vôd dochádza k produkcii bioplynu, využitím ktorého môžu byť náklady do značnej miery znížené. Cieľom publikovaného príspevku je prezentovať výsledky týkajúce sa možností využitia čistenia odpadových vôd na produkciu bioplynu a jeho následného ďalšieho využitia v cukrovarníckej technológii. V rámci zhodnotenia práce biologickej čisticky odpadových vôd a jej produkcie bioplynu bola potvrdená nevyhnutnosť prevádzky čističky odpadových vôd v cukrovare. Čistička odpadových vôd produkuje bioplyn, ktorý významne pokrýva nároky cukrovaru na energie, čím znižuje spotrebu zemného plynu. Na základe vyhodnotenia výsledkov činnosti čističky odporúčame zvýšiť jej kapacitu a v dôsledku toho zvýšiť produkciu bioplynu ako významného faktora energetickej sebestačnosti spracovateľského podniku.

Kľúčové slová: cukrovar, odpadové vody, bioplyn.

Literatúra

1. Abraham, J. et al.: *Sugar Technology. Beet and Cane Manufacture*. Berlin, Verlag Dr. Albert Bartens KG, 1998, 1120 s.
2. Balkwitz, W. J.; Fisher, P.: Anaerobic waste water treatment with integrated nitirification/denitircation in the Juelich sugar factory. *Zuckerind.*, 116, 1991 (3), s. 185 – 188.
3. Chen, J. C. P.: *Cane Sugar Handbook*, New York: John Wiley & Sons, 1985.
4. Kollatsch, D.: Industrielles Wasser-sparen und Abwasserreinigen schaffen neue Dimensionen. *Korrespondenz Abwasser*, 37, 1990, s. 560–564.
5. Kroiss, H. et al.: Nitrification inhibition – a source identification method for combined municipal and/or industrial wastewater treatment plants. *Water Sci. Technol.*, 26, 1992 (5–6), s. 1135–1146.
6. Nähle, C. in van der Poel, P. W.; Schiweck, H.; Schwartz, T.: *Sugar Technology. Beet and Cane Manufacture*. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 1998, 1120 s.
7. Nähle, C.: The contact process for the anaerobic treatment of wastewater: Technology, Design and Experiences. *Wat. Sci & Technol.*, 24, 1991 (8), s. 179–191.
8. van der Poel, P. W.; Schiweck, H.; Schwartz, T.: *Sugar Technology. Beet and Cane Manufacture*. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens KG, 1998, 1120 s.
9. Vukov, K.; Patkai, G.: Die mechanischen Beschädigungen der Zuckerrüben. *Zuckerind.*, 103, 1978, s. 848–850.

Bennár M., Bojňanská T., Vidal D., Hambálková J., Tóth Š., Richter A.: Evaluation of the Biological Waterwaste Treatment Plant and its Biogas Production

One important factor affecting functioning of a sugar factory is minimizing the costs of its operation. Wastewater treatment produces biogas, use of biogas can reduce the expenses of a sugar factory. The aim of the published paper is to present results concerning the possible use of wastewater treatment for biogas production and its subsequent further use in sugar technology. Assessment of the work of the biological wastewater treatment plant and its biogas production confirmed the necessity of WWTP on the premises of the sugar factory. Wastewater treatment plant produces biogas, which covers the significant energy demands in a sugar factory, reducing consumption of natural gas. Based on assesment of the results, it is recommended to increase the wastewater treatment plant capacity and consequently increase the production of biogas as an important factor of self-sufficiency of a sugar factory.

Key words: wastewater treatment plant, sugar beet factory, biogas.

Kontaktná adresa – Contact address:

Ing. Marek Bennár, PhD. MSc., Institute of Food Engineering for Development, Department of Food Technology, Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera s/N, 46022 Valencia, Spain, e-mail: marek_bennar@hotmail.com

doc. Ing. Tatiana Bojňanská, CSc., Slovenská poľnohospodárska univerzita, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, KSSRP, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, e-mail: tatiana.bojnanska@uniag.sk

Ing. Antonín Richter, Slovenské cukrovary s. r. o. Sereď, Cukrovarská 726, 926 01 Sereď, Slovenská republika, e-mail: antonin.richter@agrana.com

Obr. 6. Aeróbna nádrž čističky cukrovaru Sereď