

Ewa ŁOBOS-MOYSA¹

OCZYSZCZANIE ŚCIEKÓW ZAWIERAJĄCYCH OLEJE W UKŁADZIE: BIOREAKTOR MEMBRANOWY I MODUŁ NANOFILTRACYJNY

THE TREATMENT OF WASTEWATER CONTAIN OILS IN THE SYSTEM: MEMBRANE BIOREACTOR AND NANOFILTRATION MODULE

Abstrakt: W badaniach użyto modelowego bioreaktora membranowego składającego się z bioreaktora (o objętości 20 dm³) oraz dwóch modułów: z mikrofiltracyjną membraną ceramiczną wielokanałową oraz z przemysłową nanofiltracyjną membraną spiralną kompostową (JAM Inox). Zasada pracy takiej oczyszczalni w części biologicznej będzie taka sama jak na klasycznej mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków komunalnych. W zakresie obciążeń substratowych od 0,1 do 0,3 g BZT₅/g s.m. d na obu typach oczyszczalni będzie obserwowana wysoka i stała efektywność biodegradacji. Natomiast ze względu na występowanie w ściekach olejów i tłuszczów są potrzebne odpowiednie warunki prowadzenia procesu biodegradacji, tj. dłuższy czas zatrzymania oraz temperatura w bioreaktorze. Na podstawie badań testowych można określić dolną granicę czasu zatrzymania na 8 godzin. W przypadku zwiększenia dawki, np. 3xd, konieczne jest też zwiększenie czasu do 14 godzin. Wadą układów z zewnętrznym modułem membranowym jest zubożenie mikroorganizmów towarzyszących, tj. orzęsków i wrotków. Jednak nie wpływa to na efektywność oczyszczania ścieków.

Słowa kluczowe: ścieki, osad czynny, bioreaktor membranowy, MF, NF, oleje w ściekach, tłuszcze w ściekach

Wstęp

Podczas mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków przemysłowych zawierających oleje i tłuszcze obserwuje się szereg negatywnych zjawisk. Z pozoru wydaje się, że w przypadku ścieków komunalnych ten problem dotyczy jedynie miejscowości turystycznych, gdyż w sezonie letnim zmienia się radykalnie ilość, a przede wszystkim skład tych ścieków. Jednak takie problemy są obserwowane również w miastach o charakterze przemysłowym, gdzie spływające z centrum miast ścieki mogą mieć podwyższoną zawartość olejów i tłuszczów pochodzących z gospodarstw domowych i lokali typu fast food. Interesującym, nowym rozwiązaniem komunalnych oczyszczalni ścieków mogą być bioreaktory membranowe (MBR). Dzięki odmiennym niż na klasycznej oczyszczalni parametrom pracy jest możliwe uzyskanie lepszej efektywności [1-4]. Celem badań było sprawdzenie możliwości zastosowania bioreaktora membranowego z dwustopniową filtracją membranową do oczyszczania ścieków komunalnych z podwyższoną zawartością zanieczyszczeń olejowych oraz opracowanie koncepcji MBR-NF.

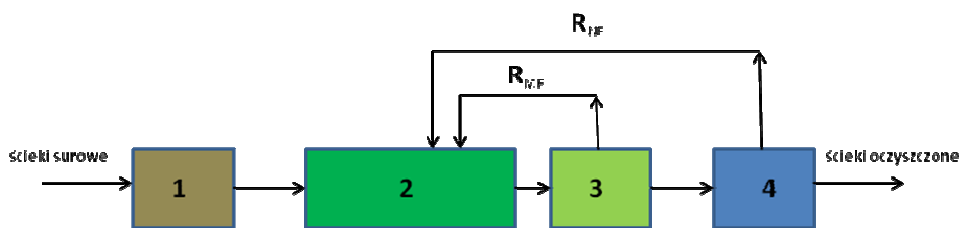
¹ Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 29 81, email: ewa.lobos-moysa@polsl.pl

* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnółtówek, 23-26.10.2013

Metodyka badań

Bioreaktor membranowy z dwustopniową filtracją membranową

Instalacja bioreaktora membranowego składała się z bioreaktora (o objętości 20 dm³), modułu z mikrofiltracyjną membraną ceramiczną wielokanałową (o powierzchni filtracyjnej 0,17 m², granicy rozdziału 150 kDa) oraz osprzętu. Ścieki surowe do instalacji doprowadzono przy użyciu pompki perystaltycznej ze zbiornika uśredniającego. Napowietrzanie odbywało się za pomocą pompki akwariowych. Drugi stopień filtracji ze zbiornikiem pośrednim o objętości 20 dm³ odbywał się na przemysłowej nanofiltracyjnej membranie spiralnej kompostowej (o powierzchni filtracyjnej 2,6 m², granicy rozdziału 200-400 Da). Obie części instalacji były firmy JAM Inox (rys. 1).



Rys. 1. Schemat MBR-NF do oczyszczania ścieków komunalnych zawierających zanieczyszczenia olejowe: 1 - zbiornik uśredniający/komora nadźwiękawiania, 2 - bioreaktor, 3 - moduł MF, 4 - moduł NF

Fig. 1. The schema of MBR-NF used to treatment of wastewater contain oils: 1 - mixing tank/ultrasonic tank, 2 - bioreactor, 3 - MF module, 4 - NF module

Przebieg badań

Modelowe ścieki komunalne dozowano w sposób ciągły do bioreaktora instalacji MBR-NF. Po I stopniu oczyszczania permeat przepływał do zbiornika pośredniego, a retentat z niego był zawracany do bioreaktora. II stopień oczyszczania prowadzono w zakresie od 10 do 36% odzysku permeatu na membranie NF. Na podstawie badań testowych ustalono zakresy parametrów pracy osadu czynnego w MBR-NF, tj. obciążenia substratowego osadu czynnego oraz czasu zatrzymania ścieków, które odpowiadały niskiemu i średniemu obciążeniu na oczyszczalniach konwencjonalnych [5, 6]. Procesy membranowe prowadzono przy ciśnieniu i natężeniu przepływu odpowiednio: 0,06 MPa i 1500 dm³/h oraz 5 MPa i 1600 dm³/h.

Charakterystyka ścieków

W badaniach użyto ścieków modelowych komunalnych z dodatkiem oleju rzepakowego, które były przygotowywane raz na dobę (tab. 1). W celu wprowadzenia oleju w postaci emulsji preparowano go w płuczce ultradźwiękowej. Proces emulgowania przy użyciu ultradźwięków to proces powstawania drobnych kropli, oparty jest na kawitacji [7, 8]. Zastosowano dwie dawki emulsji olejowej: 0,02% (wagowo) oraz trzykrotną jej wartość. Modelowe ścieki miały tendencję do zagniwania, dlatego ich analizie fizykochemiczną przeprowadzono w godzinie „0” oraz w 4, 8, 12 i 16 godzinie dozowania ścieków.

Charakterystyka modelowych ścieków komunalnych

Tabela 1

Characteristics of the model municipal wastewater

Table 1

Składnik	Zawartość
Dodatek specyficzny	0,02% emulsja olejowa
Część organiczna	0,34 g/dm ³ bulion wzbogacony
	0,03 g/dm ³ mocznik
	0,05 g/dm ³ octan sodu
	0,25 g/dm ³ skrobia
Część mineralna	0,006 g/dm ³ CaCl ₂ · 2H ₂ O
	0,05 g/dm ³ MgSO ₄ · 7H ₂ O
	0,007 g/dm ³ KCl

Stosowane oznaczenia analityczne

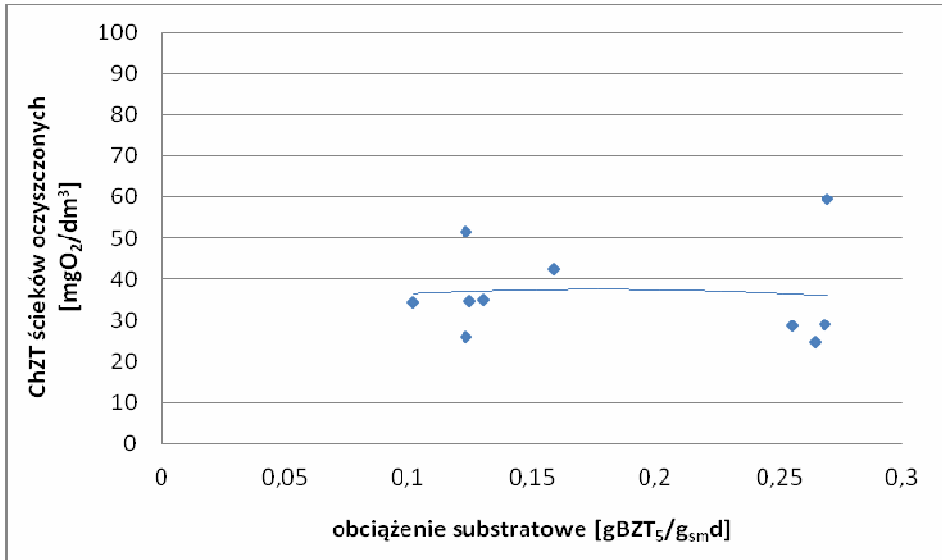
Efektywność procesu została oceniona na podstawie oznaczania związków organicznych jako wskaźników: BZT₅ (metodą OxiTop, firmy WTW) i ChZT (metodą dichromianową, Pharo 100 firmy Merck) oraz pH w ściekach surowych oraz po poszczególnych etapach oczyszczania. W celu określenia wpływu warunków prowadzenia procesów dokonywano również pomiarów: stężenia suchej masy osadu czynnego metodą wagową w 105°C (bioreaktor MBR), temperatury (ścieki surowe, bioreaktor MBR, komora NF), natężenia przepływu (permeat po MF i po NF).

Wyniki i ich omówienie

Ocena pracy MBR na podstawie wskaźników ogólnych

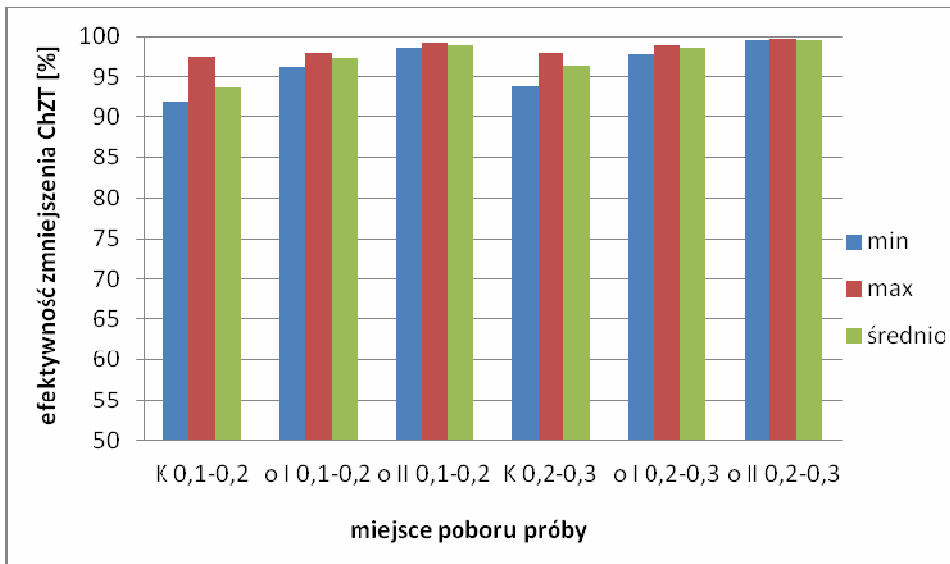
Badania prowadzono w zakresie, typowych dla klasycznej oczyszczalni ścieków, niskich i średnich obciążeń osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń wyrażonym jako BZT₅ od 0,1 do 0,3 g O₂/g s.m. d. Z obciążeń niższych zrezygnowano na podstawie wcześniejszych badań [5]. Natomiast zawartości suchej masy osadu czynnego przyjęto jak dla bioreaktorów membranowych, tj. od 7 do 8,1 g s.m./dm³. Obecnie nie są już stosowane tak duże stężenia osadu czynnego w komorze, jak to podawano w latach 90, tj. od 10 do 30, a nawet 50 g/dm³. Większość pracujących obecnie oczyszczalni oraz prowadzonych badań w skali laboratoryjnej stosuje stężenie osadu czynnego na poziomie od 5 do 15 g/dm³ [4, 9]. Dzięki zastosowaniu recyrkulacji z komory NF do MBR uzyskano ChZT na odpływie z I stopnia oczyszczania na poziomie od 26 do 60 mg O₂/dm³ (przed ustabilizowaniem pracy układu) oraz od 25 do 52 mg O₂/dm³ (po ustabilizowaniu pracy), a z II stopnia od 7,5 do 16 mg O₂/dm³ (rys. 2).

Na rysunku 3 podano efektywność zmniejszenia wskaźnika ChZT. Już w komorze obserwowano zmniejszenie się ChZT w porównaniu z wartościami w ściekach surowych. Przy obciążeniu od 0,1 do 0,2 g O₂/g s.m. d efektywność procesu biodegradacji wynosiła od 96,1 do 97,9%, średnio 97,3% (po I stopniu), oraz od 98,7 do 99,2%, średnio 98,9% (po II stopniu, a tym samym całym procesie). Przy obciążeniu od 0,2 do 0,3 g O₂/g s.m. d efektywność wynosiła od 97,7 do 99,0%, średnio 98,7% (po I stopniu), oraz od 99,5 do 99,7%, średnio 99,6% (po II stopniu).



Rys. 2. Wartości średnie ChZT na odpływie z MBR dla zakresu obciążeń substratowych od 0,1 do 0,3 g O₂/g s.m. d

Fig. 2. COD in the MBR effluent in the range of substrate loads from 0.1 to 0.3 g O₂/g_{MLSS} d

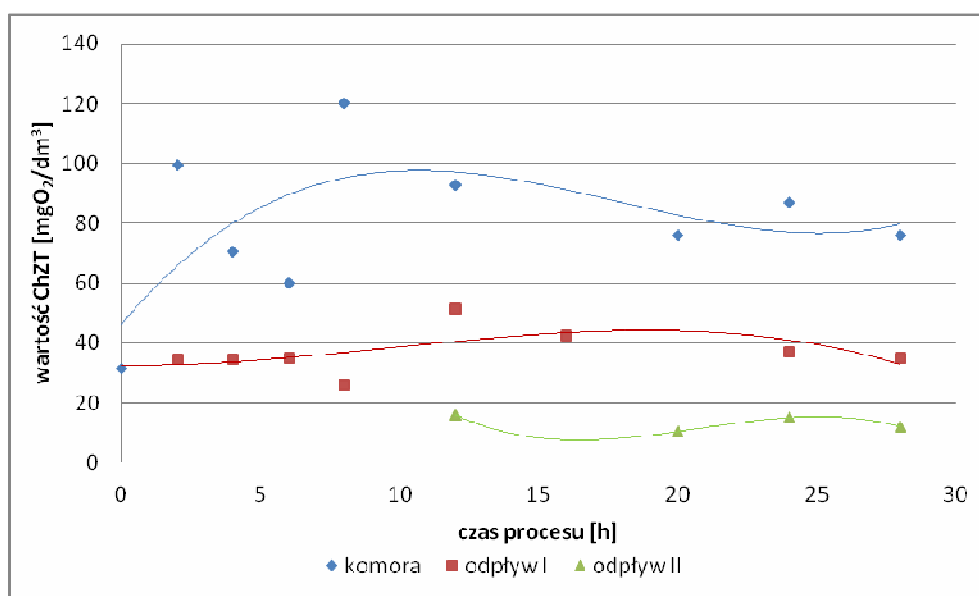


Rys. 3. Efektywność zmniejszenia ChZT w MBR-NF w zależności od obciążenia substratowego, K - komora, oI - permeat MBR, oII - permeat MBR-NF

Fig. 3. The efficiency of COD removal in MBR-NF as a function of substrate loads, K - bioreactor, oI - MBR permeate, oII - MBR-NF permeate

Wpływ dawki olejów na efektywność oczyszczania

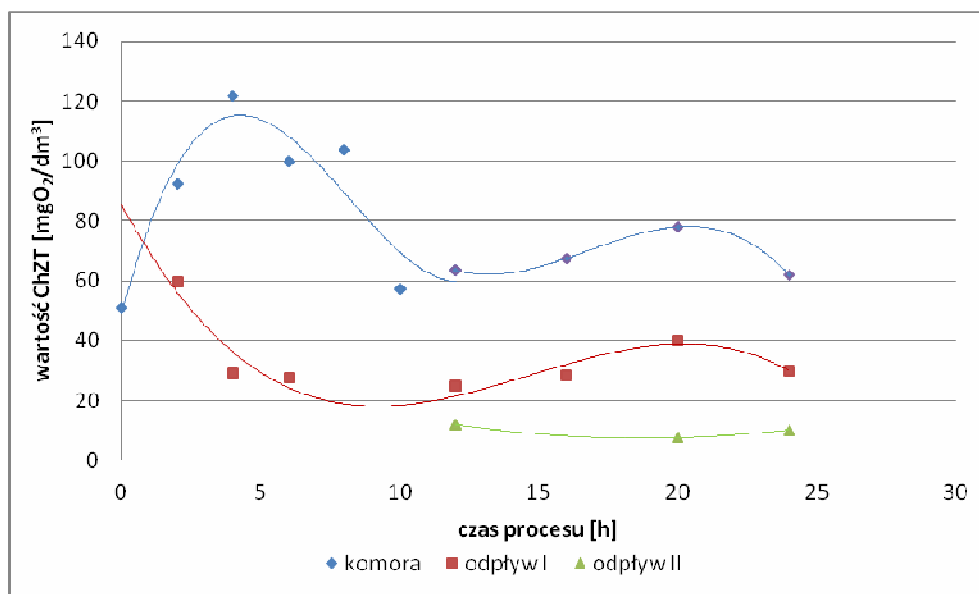
Podczas oczyszczania ścieków na klasycznych oczyszczalniach stosuje się czasy zatrzymania w granicach od 5 do 15 godzin. Na podstawie badań testowych, ze względu na zanieczyszczenia olejowe, ustalono, że czas ten musi być z zakresu od 8 do 24 godzin. Stosując dwie różne dawki emulsji olejowej przy tym samym czasie zatrzymania 13,5 h, zauważono wpływ zawartości substratu na szybkość reakcji (rys. 4 i 5). Przy dawce 0,02% wagowo emulsji olejowej obserwowano stopniowy wzrost ChZT w komorze do ok. 10 godziny, a następnie spadek i unormowanie. Przy dawce trzykrotnie większej maksymalny wzrost wystąpił już ok. 5 godziny. Jednocześnie nie obserwowano kumulacji zanieczyszczeń oznaczanych jako ChZT w bioreaktorze układu MBR-NF (rys. 6).



Rys. 4. Wartość ChZT w komorze, ściekach oczyszczonych po MBR oraz oczyszczonych po MBR-NF dla dawki I

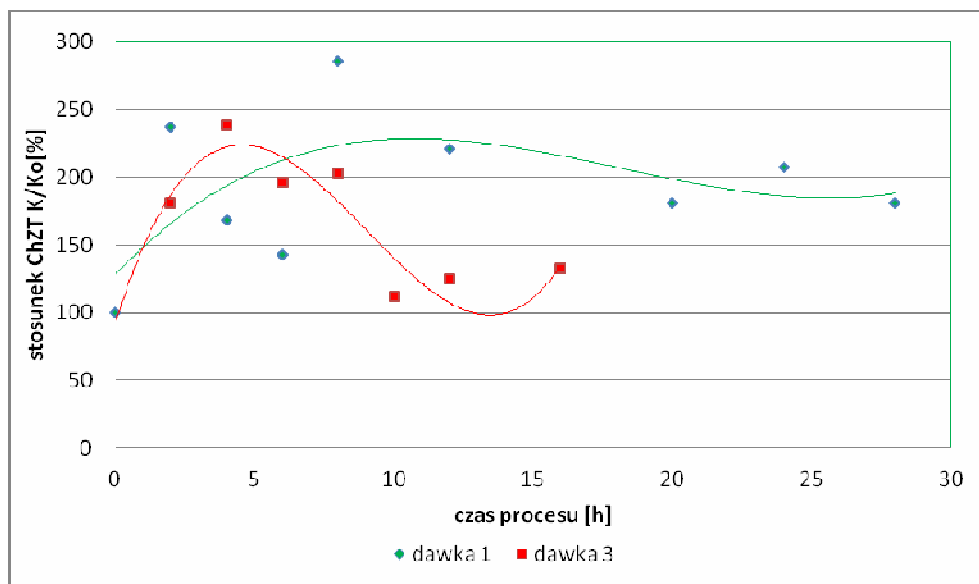
Fig. 4. COD in the bioreactor, in the MBR effluent and in the MBR-NF effluent for dose I

W zakresie obciążeń substratowych od 0,1 do 0,3 g BZT/g s.m. d jest obserwowana wysoka i stała efektywność biodegradacji metodą osadu czynnego, niezależnie od typu urządzenia. Ze względu na występowanie w ściekach zanieczyszczeń olejowych są potrzebne odpowiednie warunki prowadzenia procesu biodegradacji, tj. dłuższy czas zatrzymania oraz temperatura w bioreaktorze. Zwłaszcza ten pierwszy parametr odgrywa dużą rolę w oczyszczaniu ścieków w MBR [10]. Niska temperatura spowalnia biodegradację [11]. Dla modelowych ścieków komunalnych z dodatkiem oleju rzepakowego określono dolną granicę czasu zatrzymania na 8 godzin, a w przypadku zwiększenia dawki, np. do d3, konieczne jest też zwiększenie czasu do 14 godzin.



Rys. 5. Wartość ChZT w komorze, ściekach oczyszczonych po MBR oraz oczyszczonych po MBR-NF dla dawki 3

Fig. 5. COD in the bioreactor, in the MBR effluent and in the MBR-NF effluent for dose 3



Rys. 6. Stosunek ChZT w komorze do ChZT początkowego w komorze

Fig. 6. The ratio of COD in bioreactor to initial COD in bioreactor

Niezależnie od stosowanej dawki oleju w MBR obserwowano zmiany w wielkości kłaczków osadu czynnego (większe rozdrobnienie) oraz w występowaniu organizmów towarzyszących (zubożenie gatunków).

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie koncepcji oczyszczania ścieków komunalnych zawierających zanieczyszczenia olejowe przy użyciu nowoczesnych technik membranowych oraz sformułowanie następujących wniosków:

- Oczyszczalnię typu MBR można nie tylko zaprojektować i wybudować od podstaw, ale także, co jest dużym atutem tych technologii, poprzez modernizację istniejącej, starej oczyszczalni.
- Zasada pracy takiej oczyszczalni w części biologicznej będzie taka sama jak na klasycznej mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków komunalnych. W zakresie obciążeń substratowych od 0,1 do 0,3 g BZT/g s.m. d na obu typach oczyszczalni będzie obserwowana wysoka i stała efektywność biodegradacji. Natomiast ze względu na występowanie w ściekach zanieczyszczeń olejowych są potrzebne odpowiednie warunki prowadzenia procesu biodegradacji, tj. dłuższy czas zatrzymania oraz temperatura w bioreaktorze.
- Na podstawie badań określono dolną granicę czasu zatrzymania na 8 godzin. W przypadku zwiększenia dawki np., do 3xd, konieczne jest też zwiększenie czasu do 14 godzin.
- „Wadą” układów z zewnętrznym modułem membranowym jest zubożenie mikroorganizmów towarzyszących, tj. orzęsków i wrotków [12]. Jednak nie wpływa to na efektywność oczyszczania ścieków.

Literatura

- [1] Brepols Ch, Dorgeloh E, Frechen F-B, Fuchs W, Haider S, Joss A, et al. Desalination. 2008;231:20-26. DOI: 10.1016/j.desal.2007.11.035.
- [2] Mohammeda TA, Birimaa AH, Megat Mohd Noora MJ, Muyibib SA, Idrisc A. Desalination. 2008;221:502-510. DOI: 10.1016/j.desal.2007.02.058.
- [3] Krzeminski P, Langhorst W, Schyns P, de Vente D, Van den Broeck R, Smets IY, et al. Desalination. 2012;284:341-348. DOI: 10.1016/j.desal.2011.10.038.
- [4] Brepols Ch, Dorgeloh B, Frechen F-B, Fuchs W, Haider S, Joss A. Desalination. 2008;231:20-26. DOI: 10.1016/j.desal.2007.11.035.
- [5] Łobos-Moysa E, Dudziak M, Bodzek M. Ochr Środow. 2010;32:53-56.
- [6] Łobos-Moysa E. Oczyszczanie ścieków zawierających oleje w bioreaktorze z dwustopniową filtracją membranową. W: Bodzek M, Pelczar J, redaktorzy. Membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. Vol. 66. Lublin; 2010:29-34.
- [7] Luque de Castro MD, Priego-Capote F. Talanta. 2007;72:321-334. DOI: 10.1016/j.talanta.2006.11.013.
- [8] Priego-Capote F, Luque de Castro MD. Trends in Analytical Chem. 2004;23:644-653. DOI: 10.1016/j.trac.2004.06.006.
- [9] Weiss S, Reemtsma TH. Water Res. 2008;42:3837-3847. DOI: 10.1016/j.watres.2008.05.019.
- [10] Molina-Muñoz M, Poyatos JM, Rodelas B, Pozo C, Manzanera M, Hontoria E, et al. Bioresour Technol. 2010;101:696-704. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.08.071.
- [11] Krzeminski P, Iglesias-Obelleiro A, Madebo G, Garrido J.M, vander Graaf JHJM, van Lier JB, et al. J of Membrane Sci. 2012;423-424:348-361. DOI: 10.1016/j.memsci.2012.08.032.
- [12] Xing CH, Qian Y, Wen XH, Wu WZ, Sun D. J of Membrane Sci. 2001;191:31-42.

THE TREATMENT OF WASTEWATER CONTAIN OILS IN THE SYSTEM: MEMBRANE BIOREACTOR AND NANOFILTRATION MODULE

Faculty of Energy and Environmental Engineering, Silesian University of Technology

Abstract: In studies the model membrane bioreactor consisted of the bioreactor (20 dm³) and two modules: microfiltration ceramic membrane with multi-channel and nanofiltration industrial spiral membrane was used (JAM Inox). The principle of work of biological part was the same as on the classic mechanical-biological wastewater treatment plant. In the range of organic loads from 0.1 to 0.3 g BOD₅/g_{M.L.S.S} d, high and constant efficiency was observed on both types of wastewater treatment plans. However, due to the presence of the oils and fats in effluents, the appropriate conditions were needed for the biodegradation process *eg* longer retention time and the temperature in the bioreactor. On the basis of the test studies, the lower limit of the retention time was 8 hours. In the case of increasing the dose (3xd) there was also necessary to increase the time to 14 hours. The disadvantage of these systems is less presence of microorganisms *eg* ciliates and rotatoria. However, this does not affect the efficiency of wastewater treatment.

Keywords: wastewater, activated sludge, membrane bioreactor, MF, NF, oil and fat