Jolanta BOHDZIEWICZ¹
Gabriela KAMIŃSKA²
Edyta KUDLEK³

WPLYW STOPNIA ODZYSKU PERMEATU NA WYDAJNOŚĆ I EFEKTYWNOŚĆ NANOFILTRACYJNEGO DOCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH

W problematyce oczyszczania ścieków coraz częściej zwraca się uwagę na zagrożenie zanieczyszczenia wód powierzchniowych przez oczyszczone biologicznie ścieki odprowadzane do środowiska. Pomimo bardzo wysokiego stopnia obniżenia wskaźników zanieczyszczeń w procesie mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków, odpływy z oczyszczalni zawierają toksyczne mikrozanieczyszczenia, których rodzaj i stężenie nie jest dotychczas w żaden sposób kontrolowane. Należą do nich między innymi związki o estrogenicznej aktywności biologicznej (ang. Endocrine Disrupting Chemicals), których już śladowe ilości zakłócają funkcjonowanie układu hormonalnego człowieka. Dlatego też przedmiotem uwagi staje się pogłębione oczyszczanie ścieków, które pozwala wyeliminować problem migracji mikrozanieczyszczeń do środowiska. Jednym z proponowanych rozwiązań jest zastosowanie procesu nanofiltracji, umożliwiającego zatrzymanie niskocząsteczkowych związków organicznych. Zasadniczym problemem w trakcie realizacji technik membranowych jest zjawisko foulingu, które zakłóca przebieg procesu. Z jednej strony powlekanie powierzchni membrany warstwą zanieczyszczeń skutkuje wzrostem ich retencji, jednak z drugiej powoduje znaczne obniżenie wydajności procesu. W prezentowanej pracy badano wpływ czasu prowadzenia nanofiltracji na efektywność doczyszczania ścieków komunalnych i wydajność procesu. Stopień doczyszczania ścieków oceniano w oparciu o obniżenie stężenia bisfenolu A oraz wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących ścieki oczyszczone. Uzyskane wyniki wskazują, że stopień obniżenia wartości organicznych wskaźników zanieczyszczeń wzrastał wraz ze wzrostem stopnia odzysku permeatu. Zaobserwowano również 27% obniżenie końcowej wydajności procesu w stosunku do początkowej.

¹ Autor do korespondencji: Jolanta Bohdziewicz, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18, tel.: 32 237 16 98, jolanta.bohdziewicz@polsl.pl

² Gabriela Kamińska, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18, tel.: 32 237 14 15, gabriela.kaminska@polsl.pl

³ Edyta Kudlek, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18, tel.: 32 237 14 15, edyta.kudlek@polsl.pl

Słowa kluczowe: doczyszczanie ścieków komunalnych, nanofiltracja, fouling

1. Wprowadzenie

Regularne odprowadzanie oczyszczonych ścieków komunalnych i przemysłowych do wód powierzchniowych, pełniących funkcję odbiorników powoduje znaczne pogorszenie się ich jakości. Obecność w wodach powierzchniowych mikroorganizmów chorobotwórczych oraz toksycznych mikrozanieczyszczeń uniemożliwia ich wykorzystanie do celów rekreacyjnych, rolniczych, a przede wszystkim do produkcji wody pitnej. Uwzględniając pogarszającą się jakość zasobów wodnych na całym świecie oraz toksyczne działanie mikrozanieczyszczeń niezwykle istotne wydaje się wyeliminowanie tych związków z oczyszczonych biologicznie ścieków komunalnych i przemysłowych. O niedocenianiu znaczenia tego problemu świadczy brak w polskim Ustawodawstwie uregulowań dotyczących obecności ksenobiotyków w oczyszczonych biologicznie ściekach co powoduje, że do środowiska przedostaje się liczna grupa różnych niezidentyfikowanych mikrozanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Należy do nich między innymi bisfenol A (BPA), zaliczany do grupy związków zakłócających prawidłowe działanie układu hormonalnego (ang. Endocrine Disrupting Chemicals - EDCs). Specyfika toksycznego działania EDCs polega na zaburzeniu funkcjonowania układu hormonalnego, który w warunkach naturalnych reguluje pracę całego organizmu przy pomocy bardzo niskich stężeń wydzielanych hormonów. Dlatego też już śladowe ilości EDCs są w stanie naśladować działanie naturalnych hormonów i wywoływać niekorzystne zmiany w organizmie człowieka [1, 2, 3]. Zagrożenie jakie wynika z ich obecności potęguje fakt, że są trudno biodegradowalne, a w środowisku, szybko migrują oraz zmieniają w sposób niekorzystny właściwości fizykochemiczne wody. Zaistniała zatem potrzeba pogłębionego oczyszczania ścieków, które pozwoli w przyszłości wyeliminować te substancje z odpływów z komunalnych oczyszczalni i tym samym ochronić wody powierzchniowe. Jednym z proponowanych rozwiązań jest zastosowanie ciśnieniowych technik membranowych [4-8]. W zależności od rodzaju procesu membranowego możliwe jest usunięcie m.in. wielkocząsteczkowych związków organicznych odpowiadających za mętność wody, związków o charakterze nieorganicznym, jonów metali, a także małocząsteczkowych mikrozanieczyszczeń [9-12]. Na podstawie wcześniejszych badań [13] stwierdzono, że zastosowanie procesu nanofiltracji do pogłębionego oczyszczania ścieków komunalnych po procesie biologicznym gwarantuje znaczne obniżenie charakteryzujących je fizykochemicznych wskaźników zanieczyszczeń. W przeprowadzonych badaniach określono najkorzystniejsze ciśnienie transmembranowe i pH ścieków biorąc pod uwagę efektywność i wydajność procesu. Jakkolwiek zastosowanie ciśnieniowych procesów membranowych w technologii wody

i ścieków jest coraz szersze to podstawowym problemem w trakcie ich realizacji jest obniżenie strumienia permeatu związane z foulingiem membran. Dlatego też celem podjętej tematyki badawczej było określenie wpływu prowadzenia nanofiltracyjnego doczyszczania ścieków komunalnych na wydajność i efektywność procesu.

2. Metodyka badań

2.1. Substrat badań

W badaniach wykorzystano ścieki oczyszczone pochodzące z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków zlokalizowanej na terenie Śląska. Obiekt odbiera ścieki bytowo-gospodarcze, miejskie i przemysłowe przy średniej przepuszczalności równej $51 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{dzień}$. Są one wstępnie oczyszczane mechanicznie, a następnie kierowane na stopień biologiczny, gdzie zachodzi degradacja związków azotu i fosforu w procesach prowadzonych przez osad czynny. Po końcowej sedymentacji, ścieki są odprowadzane do odbiornika wodnego. Próbkę do badań pobierano bezpośrednio ze zbiornika, w którym gromadzone są ścieki odprowadzane do środowiska. Charakterystykę fizyczno-chemiczną ścieków wprowadzonych do układu membranowego przedstawiono w tabeli 1. Wartości wskaźników zanieczyszczeń nie przekraczały norm zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [14].

Tabela 1. Charakterystyka fizyczno-chemiczna ścieków

Table 1. Characteristic of wastewater

Wskaźnik	Wartość	Wartość normowana w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [14]
pH	7,8	6,5-9
Barwa [$\text{mg Pt}/\text{dm}^3$]	41,00	-
Mętność FAU	8,00	-
ChZT [mg/dm^3]	55,50	125
OWO [mg/dm^3]	17,24	30
OWN [mg/dm^3]	54,82	-
Indeks fenolowy [mg/dm^3]	0,19	0,1
Bisfenol A [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]	5,72	-
N_{og} [mg/dm^3]	8,00	10
N-NH_4^+ [mg/dm^3]	3,00	10
N-NO_2 [mg/dm^3]	0,06	1
N-NO_3^- [mg/dm^3]	2,22	30
P-PO_4^{3-} [mg/dm^3]	0,23	1
Cl^- [mg/dm^3]	140,00	-

2.2. Proces ciśnieniowej filtracji membranowej

Do prowadzenia procesu wykorzystano membranę nanofiltracyjną (symbol TS40), wykonaną z amidku polipiperazyny, produkcji TriSep. Membrana ta została wytypowana na podstawie badań wstępnych [13], w których wykazano, że posiada najlepsze właściwości separacyjne i charakteryzuje się wysoką wydajnością hydrauliczną oraz odpornością na fouling. Szczegółową jej charakterystykę przedstawiono w pracy [13].

Proces ciśnieniowej filtracji membranowej realizowano w układzie aparaturowym wyposażonym w płytowo-ramowy moduł membranowy amerykańskiej firmy Osmonics typu SEPA CH-NP, zbiornik nadawy z układem chłodzącym, rotometr, pompę wysokociśnieniową, manometry i zawory. Instalacja pracowała w układzie cross-flow, w systemie ciągłego zwracania retentatu do zbiornika nadawy (30 dm³) i odprowadzania permeatu. Prędkość przepływu retentatu nad powierzchnią membrany wynosiła 0,8 m/s. Temperaturę nadawy utrzymywano na poziomie 19±1° C. Proces prowadzono przez 7 godzin. W trakcie prowadzenia procesu mierzono objętość odbieranego permeatu, a następnie obliczono objętościowy strumień permeatu (J_v) – równanie 1 oraz stopień odzysku permeatu (S) - równanie 2. Zarówno przed jak i po procesie doczyszczania ścieków przez układ przepuszczono wodę dejonizowaną. Pozwoliło to obliczyć wartości względnej przepuszczalności membrany dla strumienia wody α_w (równanie 3) oraz względną przepuszczalność membrany dla strumienia ścieków α_v (równanie 4).

$$J_v = \frac{V_p}{F * t} \quad (1)$$

$$S = \frac{V_p}{V_n} * 100\% \quad (2)$$

$$\alpha_w = \frac{J_{w2}}{J_{w1}} \quad (3)$$

$$\alpha_v = \frac{J_v}{J_{w1}} \quad (4)$$

gdzie: V_p – objętość permeatu [m³]

V_n – objętość nadawy [m³]

- F – powierzchnia filtracyjna membrany [m^2]
 t – czas, w którym odebrano permeat [s]
 J_{w1} – strumień wody przed procesem filtracji ścieków [$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$]
 J_{w2} – strumień wody po procesie filtracji ścieków [$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$]
 J_v – strumień permeatu [$\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$]

2.3. Oznaczenia analityczne

Kryterium oceny stopnia doczyszczenia ścieków była różnica w wartościach stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń tj.: ChZT, OWO (ogólny węgiel organiczny), OWN (ogólny węgiel nieorganiczny), indeks fenolowy, barwa, mętność, stężenie fosforu, stężenie azotu całkowitego, amonowego, azotynowego, azotanowego, stężenie chlorków charakteryzujących ścieki biologicznie oczyszczone oraz poddane doczyszczaniu w procesie nanofiltracji. Dodatkowo posłużono się oznaczeniem stężenia bisfenolu A, który wydzielono ze ścieków metodą ekstrakcji do fazy stałej i oznaczono na chromatografie cieczowym. ChZT, indeks fenolowy, oraz stężenia form azotu (N_{og} , N-NH_4 , N-NO_2 , N-NO_3) i fosforu oznaczono zgodnie z metodyką podaną przez firmę Merck. Mętność i barwę ścieków oznaczono spektrofotometrycznie. Do oznaczenia stężeń poszczególnych form węgla zastosowano analizator węgla Multi N/C firmy Jena Analytik. Chlorki oznaczono metodą Mohra.

3. Analiza wyników

3.1. Wpływ stopnia odzysku oczyszczanych ścieków komunalnych na wydajność procesu nanofiltracji

W trakcie realizacji ciśnieniowych procesów membranowych zaobserwowano obniżanie strumienia permeatu w czasie. Jest to związane z postępującym zjawiskiem blokowania powierzchni membrany. Intensywność zachodzącego foulingu jest zależna od takich czynników jak: charakter nadawy, rodzaj membrany i procesu ciśnieniowej filtracji, wartość ciśnienia transmembranowego.

W badaniach wstępnych dowiedziono, że proces nanofiltracji realizowany przy użyciu membrany TS40 zachodził najkorzystniej przy $\Delta P = 1,5 \text{ MPa}$. Użytkiwany przy tej wartości ciśnienia transmembranowego, strumień permeatu pozwolił na wydajne prowadzenie procesu przy jednoczesnym niewielkim wpływie zjawiska foulingu membrany na jej przepuszczalność.

Analizując dane przedstawione na rysunku 1 stwierdzono, że już po 30 minutach ($S=2\%$) prowadzenia procesu zaobserwowano niewielkie obniżenie strumienia permeatu. Od 120 ($S=7,2\%$) do 270 ($S=15,5\%$) minuty strumień permeatu ustabilizował się. Jednak od 5 godziny ($S=17,28\%$) prowadzenia procesu ponownie obserwowano stopniowe obniżanie się jego wydajności. Końcowy

strumień permeatu był niższy o 27% w stosunku do początkowego, przy 23% odzysku nadawy. Należy jednak zaznaczyć, że prowadzenie procesu w wydłużonym czasie jego trwania, w układzie zatażającym bez dopływu kolejnych porcji nadawy, sprzyja nasilaniu zjawiska foulingu membrany w związku z coraz to większym stężeniem zanieczyszczeń w zbiorniku nadawy.

Rys. 1. Dynamika zmian wydajności procesu nanofiltracji

Fig. 1. Variation of effectiveness of the nanofiltration

W tabeli 2 przedstawiono wartości względnego strumienia wody dejonizowanej i permeatu. Względną przepuszczalność membrany dla permeatu wyliczono ze średniego strumienia objętościowego permeatu oraz objętościowego strumienia wody. Jego wartość ($\alpha_v=0,77$) wskazuje na zachodzące zjawisko blokowania powierzchni membrany pod wpływem zanieczyszczeń zawartych w ściekach. Po procesie filtracji ścieków, wydajność membrany na wodę dejonizowaną była zbliżona do początkowej ($\alpha_w=0,98$).

Tabela 2. Względna przepuszczalność membrany na strumień wody dejonizowanej i permeatu

Table 2. Relative flux of deionized water and permeate

Względny strumień wody dejonizowanej, α_w	Względny strumień permeatu, α_v
0,98	0,77

3.2. Efektywność doczyszczania ścieków

W badaniach analizowano efektywność doczyszczania ścieków w trakcie trwania procesu nanofiltracji. W tym celu po każdej pełnej godzinie filtracji membranowej odbierano permeat i określano stężenia wybranych wskaźników zanieczyszczeń (ChZT, OWO, OWN, fenole, chlorki). Wyniki analiz wraz z odpowiadającymi im stopniami obniżenia wartości wskaźników przedstawiono w tabeli 3. Początkowo stopień usunięcia związków organicznych wyrażanych jako ChZT był stosunkowo niski (20,72%), dopiero po 240 minutach ($S=14\%$) stopień obniżenia tego wskaźnika wzrósł do 72%, a w 420 minucie ($S=23\%$) wynosił 90%. Wzrost efektywności usuwania związków organicznych wraz ze wzrostem czasu zaobserwowano także na podstawie wartości OWO, przy czym stopnie obniżenia były znacznie wyższe niż dla ChZT. Stopień obniżenia indeksu fenolowego również wzrastał w czasie. Na początku prowadzenia procesu był na poziomie 60%, a po 7 godzinach filtracji ciśnieniowej wynosił 79%. Obserwowany efekt wzrostu stopni usunięcia zanieczyszczeń w czasie, prawdopodobnie był wynikiem nasilającego się blokowania powierzchni membrany warstwą zanieczyszczeń, która stanowiła dodatkową barierę separacyjną. Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku węgla nieorganicznego. Retencja OWN w pierwszej godzinie filtracji ($S=3,75\%$) wynosiła 87,19% i malała nieznacznie z każdą godziną do 77% w 7 godzinie procesu ($S=23\%$). Prowadzenie procesu w układzie bez dopływu nowych porcji nadawy sprzyja zatężaniu składników w niej zawartych. Dlatego też możliwe jest obniżanie się efektywności usunięcia niektórych zanieczyszczeń wraz ze wzrostem stopnia odzysku nadawy. Z kolei efektywność usunięcia chlorków była najwyższa w pierwszej godzinie prowadzenia procesu (35%), później wraz z wydłużaniem czasu trwania procesu stopień usunięcia chlorków był na stałym poziomie wynoszącym 20%. Niska retencja jonów jednowartościowych jest charakterystyczna dla procesu nanofiltracji. Stwierdzono także, że generowana na powierzchni membrany warstwa zanieczyszczeń nie miała wpływu na stopień retencji tych jonów.

Zastosowanie procesu nanofiltracji trwającego 7 godzin ($S=23\%$) umożliwiło w znacznym stopniu usunięcie ze ścieków zanieczyszczeń organicznych, nieorganicznych, biogenów i mikrozanieczyszczeń o czym świadczą wartości wskaźników charakteryzujące permeat (tabela 4). Wysokie stopnie eliminacji uzyskano dla barwy i mętności, które w ściekach po procesie doczyszczania oznaczono na poziomie śladów. Spośród chemicznych wskaźników zanieczyszczeń organicznych wysokie obniżenie wartości uzyskano dla ChZT (94,77%), OWO (81,44%). W znacznym stopniu usunięto mikrozanieczyszczenia z grupy fenoli. Stopień obniżenia indeksu fenolowego wynosił 65,26%, a bisfenolu A 70,62%. W procesie nanofiltracji udało się także obniżyć wartości wskaźników zanieczyszczeń odpowiadających za zawartość w ściekach substancji biogenych. Stopień obniżenia azotu ogólnego był równy 52,5 %, a fosforu fosfora-

nowego 34,78%. W tak doczyszczonych ściekach wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń odpowiadały wartościom przypisanym wodzie pitnej [15]. Należałoby jednak dokonać szerszej analizy fizykochemicznej i mikrobiologicznej w celu zweryfikowania jakości doczyszczonych ścieków komunalnych.

Tabela 3. Wpływ czasu prowadzenia procesu oraz stopnia odzysku permeatu na efektywność doczyszczania ścieków

Table 3. Impact of time and feed recovery on polishing wastewater

	Stopień odzysku permeatu [%]							
	0	3,75	7,25	10,64	14,01	17,28	20,45	23,38
	Permeat po czasie [h]							
Wskaźnik	0 -nadawa	1	2	3	4	5	6	7
OWO [mg/dm ³]	17,24	5,74	3,62	3,51	2,92	3,36	3,26	2,71
R [%]	–	66,71	79	79,64	77,26	80,51	81,09	82,83
OWN [mg/dm ³]	54,8	7,02	7,4	7,34	8,66	8,08	10,36	12,56
R [%]	–	87,19	86,83	86,61	84,2	85,26	81,1	77,09
Fenole [mg/dm ³]	0,19	0,075	0,065	0,05	0,065	0,06	0,055	0,04
R [%]	–	60,53	65,79	73,68	65,79	68,42	71,05	78,99
Cl- [mg/dm ³]	140	90	110	110	110	110	110	110
R [%]	–	35,71	21,43	21,43	21,43	21,43	21,43	21,43
ChZT [mg/dm ³]	55,5	44	25	25	15,5	p.o. <4	p.o. <4	5,3
R [%]	–	20,72	54,95	54,95	72,07	–	–	90,45

Tabela 4. Wartość wskaźników zanieczyszczeń w permeacie po 420 minutach prowadzenia procesu

Table 4. Characteristic of permeate after 420 minutes of process

Wskaźnik	Stężenie w nadawie [mg/dm ³]	Stężenie w permeacie [mg/dm ³]	Retencja, R [%]
Barwa	41,00 ¹⁾	8,00 ²⁾	80,48
Mętność	8,00 ²⁾	1,00 ³⁾	87,50
ChZT	55,5	2,90	94,77

Tabela 4 (cd.). Wartość wskaźników zanieczyszczeń w permeacie po 420 minutach prowadzenia procesu

Table 4 (cont.). Characteristic of permeate after 420 minutes of process

Wskaźnik	Stężenie w nadawie [mg/dm ³]	Stężenie w permeacie [mg/dm ³]	Retencja, R [%]
OWO	17,24	3,20	81,44
OWN	54,82	9,54	82,60
Indeks fenolowy	0,19	0,085	65,26
Bisfenol A	5,72 ³⁾	1,68 ¹⁾	70,62
N _{og}	8,00	3,80	52,50
N-NH ₄ ⁺	3,00	2,30	23,33
N-NO ₂ ⁻	0,06	0,04	33,33
N-NO ₃ ⁻	2,22	1,57	29,28
P-PO ₄ ³⁻	0,23	0,15	34,78
Cl ⁻	140,00	105,00	35,71

1)-mg Pt/dm³, 2)-FAU, 3)-μg/dm³

4. Wnioski

1. Stopień odzysku permeatu w 7 godzinnym procesie nanofiltracji był równy 23%.
2. W procesie nanofiltracji prowadzonym w czasie 7 godzin zaobserwowano stopniowe obniżanie się jego strumienia. Końcowa wydajność procesu wskutek zachodzącego foulingu była niższa o 27% w stosunku do początkowej.
3. Po procesie filtracji ścieków, wydajność membrany na wodę dejonizowaną była zbliżona do początkowej ($\alpha_w=0,98$).
4. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem stopnia odzysku permeatu wzrastała efektywność usuwania związków organicznych wyrażonych jako ChZT, OWO oraz fenoli. Było to związane z nasilającym się zjawiskiem powlekania powierzchni membrany warstwą zanieczyszczeń, która stanowiła dodatkową barierę separacyjną.
5. Permeat uzyskany po 7 godzinnym procesie nanofiltracji charakteryzował się wysokim stopniem oczyszczania. W znacznym stopniu usunięto mikrozanieczyszczenia z grupy fenoli (indeks fenolowy 65%, bisfenol A 70%). Ob-

nizeniu uległy także wskaźniki odpowiadające za zawartość w ściekach substancji biogennych.

Podziękowania

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/01/n/st8/02413.

Współautorka Gabriela Kamińska jest stypendystką w projekcie SWIFT (Stypendia Wspomagające Innowacyjne Forum Technologii) POKL.08.02.01-24-005/10 współfinansowanym ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Literatura

- [1] Newbold R., Jefferson W., Padilla-Banks E.: Prenatal exposure to bisphenol A at environmentally relevant doses adversely affects the murine female reproductive tract later in life, *Environmental Health Perspectives*, no 117, 2009, pp. 879-885.
- [2] Yokota H., Seki M., Maeda M., Oshima Y., Tadokoro H., Honjo T., Kobayashi K.: Life-cycle toxicity of 4-nonylphenol to medaka (*Oryzias latipes*), *Environmental Toxicology & Chemistry*, no 20, 2001, pp. 2552-2560.
- [3] Liu R., Chen G., Tam N., Luan T., Shin P., Cheung S., Liu Y.: Toxicity of bisphenol A and its bioaccumulation and removal by a marine microalga *Stephanodiscus hantzschii*, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, no 72, 2009, pp.321-32.
- [4] Bodzek M., Dudziak M.: Elimination of steroidal sex hormones by conventional water treatment and membrane process, *Desalination*, no198, 2006, pp. 24-32.
- [5] Dudziak M., Bodzek M.: Usuwanie mikrozanieczyszczeń estrogenicznych z roztworów wodnych w wysoko ciśnieniowych procesach membranowych, *Ochrona Środowiska*, no 3, 2009, pp. 33-36.
- [6] Izadpanah A., Javidnia A.: The ability of nanofiltration membrane to remove hardness and ions from diluted seawater, *Water*, no 4, 2012, pp. 283-294.
- [7] Mänttari M., Viitikko K., Nyström M.: Nanofiltration of biologically treated effluents from the pulp and paper industry, *Journal of Membrane Science*, no 272, 2006, pp.152-160.
- [8] Han J., MENG S., Dong Y., Hu J., Gao W.: Capturing hormones and bisphenol A from water via sustained hydrogen bond driven sorption in polyamide microfiltration membranes. *Water research* 47, 2013
- [9] Cifci C., Kaya A.: Preparation of poly(vinyl alcohol)/cellulose composite membranes for metal removal from aqueous solutions, *Desalination*, no 253, 2010, pp.175-179.
- [10] Barakat M., Schmidt E.: Polymer-enhanced ultrafiltration process for heavy metals removal from industrial wastewater, *Desalination*, no 256, 2010, pp. 90-93.
- [11] Arsuaga J., López-Munoz M., Aguado J., Sotto A.: Temperature, pH and concentration effects on retention and transport of organic pollutants across thin-film composite membranes, *Desalination* no 221, 2008, pp.

- [12] Bohdziewicz J., Bodzek M., Bień J.: Ocena możliwości usuwania chromu z wody metodą odwróconej osmozy, *Ochrona środowiska*, no 2, 1995, pp. 7-10.
- [13] Bohdziewicz J., Kamińska G., Widziewicz K.: Usuwanie związków fenolowych ze ścieków w procesie nanofiltracji, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Membrany i Procesy Membranowe w Ochronie Środowiska* no 95, 2012, pp. 467-478.
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. z dnia 19 lutego 2009 r.).
- [15] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, (Dz.U. 2007 nr 61 poz. 417 z późn. zm.).

IMPACT OF FEED RECOVERY ON EFFICIENCY AND RATE OF POLISHING OF WASTEWATER DURING NANOFILTRATION

Summary

Large group of various unidentified xenobiotic compounds migrate to the environment with effluent streams and exist permanently. Among this micropollutants, especial attention focuses on Endocrine Disrupting Chemicals, which interfere functioning of endocrine system. Polishing of biologically treated wastewater by means of nanofiltration guarantees improvement of its quality. Permeability of nanofiltration membrane is reduced due to fouling. Therefore the aim of this work was to determine impact of time on efficiency and effectiveness of polishing of real effluent by means of nanofiltration.

Keywords: polishing of wastewater, nanofiltration, fouling

DOI: 10.7862/rb.2013.42

Przesłano do redakcji w lipcu 2013 r.

Przyjęto do druku we wrześniu 2013 r.