

EWA PUSZCZAŁO, ANNA ŚWIERCZYŃSKA, JOLANTA BOHDZIEWICZ

Instytut Inżynierii Wody i Ścieków
Politechnika Śląska w Gliwicach

WPLYW STĘŻENIA OSADU CZYNNEGO NA STOPIEŃ OCZYSZCZENIA ODCIEKÓW ZE SKŁADOWISKA KOMUNALNEGO W BIOREAKTORZE MEMBRANOWYM

Streszczenie. W przeprowadzonych badaniach podjęto próbę wyznaczenia najkorzystniejszego stężenia osadu czynnego w procesie współczyszczania mieszaniny odcieków pochodzących ze składowiska odpadów komunalnych ze ściekami syntetycznymi. Badania prowadzono w bioreaktorze membranowym, który pracował w cyklu 12-godzinnym. Stężenie biomasy zmieniano w zakresie wartości od 4 do 28 kg/m³. Obciążenie osadu czynnego wynosiło 0,1 g ChZT na 1 g_{sm} na dobę, a stężenie tlenu w komorze napowietrzania utrzymywano na poziomie 4 g O₂ w 1 m³. Ocieki współczyszczano ze ściekami syntetycznymi, stosując 5% obj. odcieków. Stopień usunięcia ładunków zanieczyszczeń oceniano na podstawie zmian wartości m.in. następujących wskaźników zanieczyszczeń: ChZT, BZT₅, N-NO₃, N-NH₄, P_{og}. Oczyszczane w bioreaktorze membranowym odcieki doczyszczono w procesie odwróconej osmozy.

Słowa kluczowe: bioreaktor membranowy, ultrafiltracja, odcieki ze składowiska komunalnego

Wstęp

Składowanie odpadów jest najstarszą i najbardziej uniwersalną metodą ich usuwania i unieszkodliwiania. Jest to też metoda jak dotychczas najbardziej rozpowszechniona (NECZAJ i IN. 2005). Gromadzenie odpadów na składowiskach, nawet prawidłowo zaprojektowanych i eksploatowanych, stwarza wiele zagrożeń dla środowiska. Istotnym problemem są m.in. odcieki powstające w trakcie przesączania się wód opadowych przez bryłę składowiska (LINDE i IN. 1995).

Duże obciążenie odcieków ładunkiem zanieczyszczeń, różniące się w poszczególnych porach roku ich objętości, zmienny skład związany z wiekiem składowiska oraz znaczne stężenie substancji refrakcyjnych powodują, że oczyszczanie tego rodzaju wód

odpadowych jest znacznie trudniejsze w porównaniu z oczyszczaniem ścieków komunalnych (URASE i IN. 2007).

Celem niniejszej pracy było wyznaczenie wpływu stężenia osadu czynnego na współocyszczanie mieszaniny odcieków pochodzących ze składowiska odpadów komunalnych ze ściekami syntetycznymi. Skojarzenie procesu oczyszczania odcieków metodą osadu czynnego z ciśnieniowymi technikami membranowymi wydaje się obiecującym rozwiązaniem problemu ich unieszkodliwiania w porównaniu ze stosowanymi dotychczas metodami klasycznymi.

Material i metody

Substratem badań były odcieki pochodzące ze składowiska odpadów komunalnych w Tychach. Rocznie unieszkodliwianych jest około 60-70 tys. t odpadów. Przedmiotem badań była mieszanina odcieków pochodzących ze starej i nowej kwatery (1:1). Ich charakterystykę przedstawiono w tabeli 1. Udział odcieków wyznaczony we wcześniejszych badaniach wyniósł 5% obj.

Tabela 1. Charakterystyka odcieków (zmieszanych z kwatery starej i nowej) pochodzących ze składowiska odpadów w Tychach

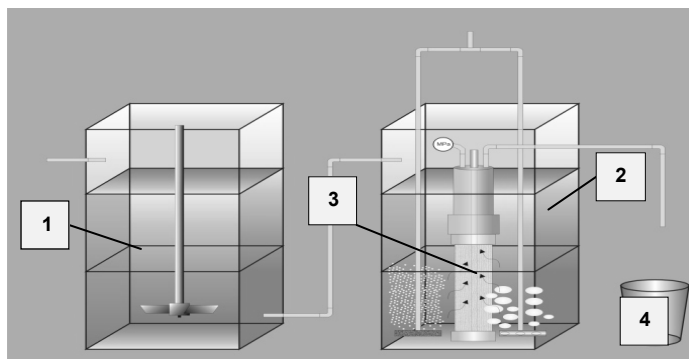
Table 1. Characteristics of sewage (a mixture from the new and old cells) collected in the landfill site in Tychy

| Oznaczenie Index | Odcieki Landfill leachates | Ścieki syntetyczne Synthetic sewage | Mieszanina ścieków syntetycznych i odcieków A mixture of synthetic sewage and landfill leachates | Wartości dopuszczalne* Permissible standards* |
|---|----------------------------------|--|--|--|
| ChZT (g O ₂ w 1 m ³) COD (g O ₂ in 1 m ³) | 3 850 | 900 | 1 160 | 125 |
| BZT ₅ (g O ₂ w 1 m ³) BOD ₅ (g O ₂ in 1 m ³) | 300 | 380 | 380 | 25 |
| Azot amonowy (g N-NH ₄ w 1 m ³) Ammonia nitrogen (g N-NH ₄ in 1 m ³) | 1 240 | 41 | 105 | 10 |
| Azot azotanowy (g N-NO ₃ w 1 m ³) Nitrate nitrogen (g N-NO ₃ in 1 m ³) | 6 | 1,8 | 1,8 | 30 |
| Fosfor (g/m ³) Phosphorus (g/m ³) | 25 | 15 | 17,2 | 2 |
| Przewodność – Conductivity (mS/cm) | 20,5 | 1,58 | 2,4 | – |
| pH | 7,9 | 7,62 | 7,82 | 6,5-9,0 |

*Dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieków odprowadzanych do odbiornika według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. (ROZPORZĄDZENIE... 2009).

*Permissible standards of pollution indices of sewage disposed of to a receiver according to the Ordinance of the Minister of Environment from 28 January 2009 (ROZPORZĄDZENIE... 2009).

Układ pomiarowy składał się ze zbiornika uśredniającego zapewniającego stałe, założone wcześniej obciążenie osadu oraz z bioreaktora membranowego z zainstalowanym wewnątrz mikrofiltracyjnym modułem kapilarnym. Schemat układu badawczego zilustrowano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat bioreaktora membranowego: 1 – zbiornik ścieków surowych, 2 – komora tlenowa, 3 – kapilarny moduł membranowy, 4 – ścieki oczyszczone

Fig. 1. Schematic presentation of membrane bioreactor: 1 – raw sewage tank, 2 – aeration chamber, 3 – membrane module, 4 – purified sewage

Zastosowany w badaniach moduł kapilarny produkcji kanadyjskiej miał powierzchnię filtracyjną $0,45 \text{ m}^2$, charakteryzował się dużą wytrzymałością mechaniczną i odpornością chemiczną. Wielkość porów membran kapilarnych wynosiła $0,04 \mu\text{m}$ (PODSZEBKA i WAWRZYŃCZYK 2002).

Bioreaktor membranowy pracował jako sekwencyjny reaktor biologiczny w cyklu 12-godzinnym. Stężenie biomasy zmieniano w zakresie wartości od 4 do 28 kg/m^3 . Obciążenie osadu czynnego wynosiło $0,1 \text{ g ChZT na } 1 \text{ g}_{\text{sm}}$ na dobę, natomiast stężenie tlenu w komorze napowietrzania utrzymywano na poziomie 4 g O_2 w 1 m^3 . Odcieki współoczyszczano ze ściekami syntetycznymi, stosując 5% obj. odcieków. Badania prowadzono przez 12 miesięcy.

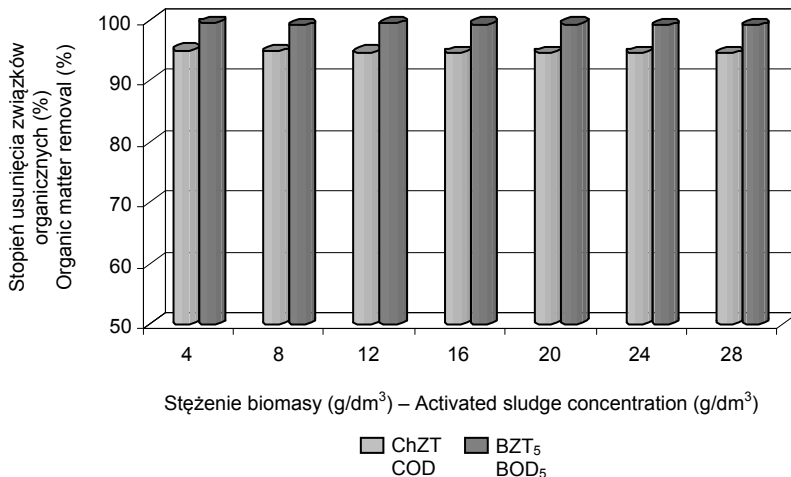
Oczyszczane w bioreaktorze membranowym odcieki doczyszczono w procesie odwróconej osmozy, który prowadzono w systemie dead-end w aparacie typu GH-100-400 amerykańskiej firmy Osmonics. Zastosowano stałe ciśnienie transmembranowe $2,0 \text{ MPa}$ oraz szybkość obrotową mieszadła 200 obr/min . Stosowano płaską membranę poliamidową (ADF) o powierzchni filtracyjnej $36,3 \text{ cm}^2$ i współczynnika retencji wodnego roztworu NaCl (1% wag.) wynoszącym 99,5%.

Efektywność oczyszczania odcieków w przypadku obu procesów oceniano na podstawie zmian wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących ścieki surowe poddawane oczyszczaniu i oczyszczone: ChZT, BZT₅, OWO, OW, N-NO₃, N-NH₄, P_{og}.

Wyniki

W omawianych badaniach podjęto próbę określenia zależności efektywności współ-oczyszczania odcieków od stosowanego stężenia osadu czynnego. Przebadano następujące stężenia biomasy: 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 g/dm³.

Na rysunku 2 zilustrowano efektywność usuwania z oczyszczanych ścieków związków organicznych w funkcji stężenia osadu stosowanego w komorze bioreaktora. Stwierdzono, że różnice w usunięciu ładunku zanieczyszczeń organicznych z oczyszczonych ścieków w całym zakresie przebadanych stężeń biomasy były bardzo nieznaczne. Stopień obniżenia wskaźnika ChZT kształtował się w granicach 94-95%, natomiast BZT₅ – powyżej 99%. Skutkowało to tym, że w ściekach oczyszczonych zawartość substancji organicznych oznaczonych jako ChZT dla stężenia biomasy 4 g/dm³ została zmniejszona do 57,6 g O₂ w 1 m³, natomiast dla stężenia 28 g/dm³ – do 64,2 mg O₂ w 1 dm³. Stężenie BZT₅ ścieków oczyszczonych zostało zmniejszone do ilości 3 mg O₂ w 1 dm³.

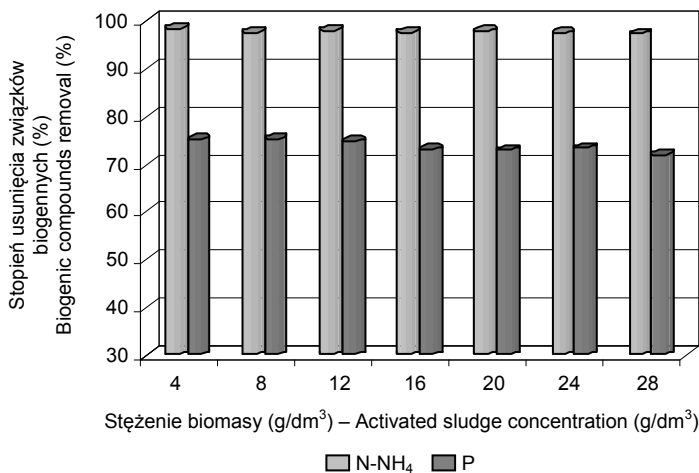


Rys. 2. Zależność stopnia usunięcia związków organicznych od stężenia osadu czynnego

Fig. 2. Correlation between organic matter removal and activated sludge concentration

Jak wykazały badania, wzrost ilości biomasy w założonym zakresie wartości stężeń od 4 do 28 g/dm³ nie miał istotnego wpływu na zmniejszenie wartości substancji organicznych, umożliwił jednak większe obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń przy zapewnieniu dużej efektywności oczyszczania ścieków.

Rysunek 3 przedstawia zależność stopnia usunięcia związków biogenych od stężenia osadu stosowanego w komorze bioreaktora. Wykazano, że stopień usunięcia azotu amonowego kształtował się na wysokim poziomie w całym przebadanym zakresie stężeń osadu czynnego. Efektywność zmniejszania zawartości tego biogenu w bioreaktorze



Rys. 3. Zależność stopnia usunięcia związków biogenych od stężenia osadu czynnego

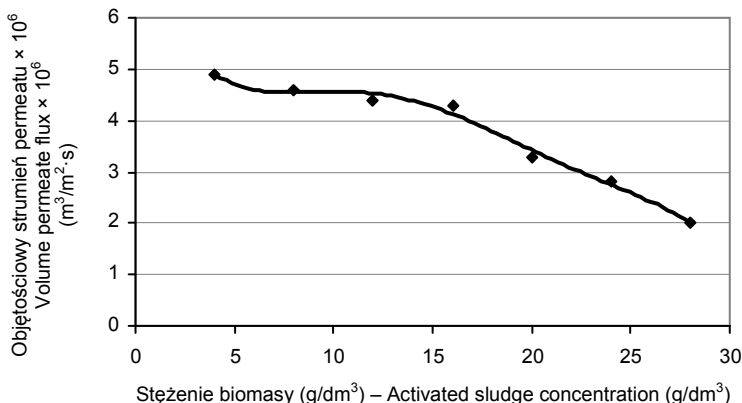
Fig. 3. Correlation between biogenic compounds removal and activated sludge concentration

wynosiła około 98%. Różnica pomiędzy największym i najmniejszym stopniem zmniejszenia jego stężenia w odpływie z bioreaktora wyniosła 3,05%.

Jednocześnie należy zwrócić uwagę na zdecydowanie za duże stężenia azotu azotanowego w ściekach odprowadzanych z bioreaktora. Jego zawartość w odpływie, niezależnie od stężenia biomasy, była kilkudziesięciokrotnie większa od stężenia w ściekach poddawanych oczyszczaniu. W dopływie jego zawartość wynosiła 1,8 mg/dm³, natomiast w ściekach oczyszczonych jego stężenie utrzymywało się w zakresie 55-95 mg/dm³.

Nieco mniejszą efektywność (ok. 75%) uzyskano w przypadku fosforu (rys. 3). Stopień usunięcia fosforu ogólnego nie był na tyle wysoki, aby ścieki można było odprowadzić do odbiornika naturalnego. Stężenie fosforu w ściekach oczyszczonych zawierało się w granicach 3,3-6 mg/dm³, podczas gdy wartość stężenia normowanego wynosi 2 mg/dm³.

Podjęto również próbę ustalenia zależności wpływu stężenia osadu czynnego na wydajność modułu ultrafiltracyjnego. Na rysunku 4 przedstawiono zależność wielkości objętościowego strumienia permeatu od stężenia biomasy w bioreaktorze. Stwierdzono, że zmiana stężenia biomasy w bioreaktorze membranowym w zakresie wartości od 4 do 16 g/dm³ nie wpłynęła na wielkość uzyskanego strumienia oczyszczanych ścieków. Kształtowała się ona na poziomie od $4,9 \times 10^{-6}$ do $4,3 \times 10^{-6}$ m³/m²·s. Zmniejszenie wydajności membran kapilarnych zaobserwowano dla większych stężeń osadu czynnego, tj. 20-28 g/dm³. Prawdopodobnie fakt ten był spowodowany wzrostem lepkości filtrowanego medium, dlatego też przyjęto, że stężenie osadu na poziomie 16 g/dm³ jest stężeniem optymalnym, dla którego prowadzenie procesu oczyszczania ścieków w bioreaktorze membranowym jest najkorzystniejsze.



Rys. 4. Zależność wielkości objętościowego strumienia permeatu od stężenia biomasy

Fig. 4. Correlation between volume permeate flux and biomass concentration

Ze względu na fakt, iż biologicznie oczyszczone ścieki nie mogły być bezpośrednio odprowadzone do odbiornika naturalnego, postanowiono doczyścić je za pomocą odwróconej osmozy. W tym procesie uzyskano 100-procentowy stopień usunięcia BZT₅ oraz azotu amonowego. Pozostałe wskaźniki zanieczyszczeń nie przekraczały dopuszczalnych norm ujętych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi (ROZPORZĄDZENIE... 2009).

W tabeli 2 zestawiono wyniki badań obrazujące efektywność oczyszczania ścieków w bioreaktorze membranowym z zastosowaniem wyznaczonego najkorzystniejszego

Tabela 2. Efektywność współoczyszczania badanych ścieków w bioreaktorze membranowym (BM) oraz w procesie odwróconej osmozy (RO)

Table 2. Effectiveness of sewage treatment in the membrane bioreactor (BM) and by reverse osmosis process (RO)

| Oznaczenie Index | Mieszanina ścieków syntetycznych i odcieków A mixture of synthetic sewage and landfill leachates | Ścieki oczyszczone w BM Sewage treated in the BM | Ścieki oczyszczone w procesie RO Sewage treated in the RO process | Wartości dopuszczalne* Permissible standards* |
|---|--|---|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ChZT (g O ₂ w 1 m ³) COD (g O ₂ in 1 m ³) | 1 160 | 50,0 | 10,0 | 125 |
| BZT ₅ (g O ₂ w 1 m ³) BOD ₅ (g O ₂ in 1 m ³) | 380 | 2,0 | 0 | 25 |

Puszczalo E., Świerczyńska A., Bohdziewicz J., 2011. Wpływ stężenia osadu czynnego na stopień oczyszczenia odcieków ze składowiska komunalnego w bioreaktorze membranowym. Nauka Przyr. Technol. 5, 4, #74.

Tabela 2 – cd. / Table 2 – cont.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|------|------|-----|----|
| Azot amonowy (g N-NH ₄ w 1 m ³) Ammonia nitrogen (g N-NH ₄ in 1 m ³) | 105 | 0,5 | 0 | 10 |
| Azot azotanowy (g N-NO ₃ w 1 m ³) Nitrate nitrogen (g N-NO ₃ in 1 m ³) | 1,8 | 60,0 | 6,0 | 30 |
| Fosfor (g/m ³) Phosphorus (g/m ³) | 17,2 | 4,0 | < 1 | 2 |

*Dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieków odprowadzanych do odbiornika według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. (ROZPORZĄDZENIE... 2009).

*Permissible standards of pollution indices of sewage disposed of to a receiver according to the Ordinance of the Minister of Environment from 28 January 2009 (ROZPORZĄDZENIE... 2009).

stężenia biomasy wynoszącego 16 g/dm³, a następnie ich doczyszczania w procesie odwróconej osmozy.

Dyskusja

Mechanizm procesów oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego w bioreaktorze membranowym i w klasycznej komorze napowietrzania jest taki sam, jednak w oczyszczalniach konwencjonalnych stosuje się stężenie osadu czynnego na poziomie od 1,5 do 3,0 g/dm³, natomiast w bioreaktorze membranowym może ono dochodzić nawet do 100 g/dm³. Z uwagi na wzrost lepkości filtrowanego medium, wywołujący spadek wydajności zainstalowanego w bioreaktorze modułu membranowego, praktycznie stosuje się stężenia osadu od 10 do 30 kg/m³, maksymalnie 50 kg/m³ (BODZEK i IN. 1997, VAN DIJK i ROCKEN 1997). W niniejszej pracy stężenie biomasy zamieniano w zakresie wartości od 4 do 28 g/dm³.

Stwierdzono, że biologiczne oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego w bioreaktorze membranowym jest skutecznym rozwiązaniem, pozwalającym na wysoki stopień zmniejszenia stężenia substancji organicznych, o czym świadczą małe wartości ChZT i BZT₅ ścieków oczyszczonych oraz stężenia azotu amonowego, którego ilość w odpływie z bioreaktora nie przekraczała norm obowiązujących dla ścieków odprowadzanych do wód i ziemi.

W niniejszej pracy zaobserwowano wzrost stężenia azotu azotanowego w odpływie z bioreaktora, który w głównej mierze był wywołany dużą zawartością azotu amonowego w ściekach współoczyszczanych. Fakt ten potwierdzają wyniki badań prowadzonych przez innych naukowców (SZYŁAK-SZYDŁOWSKI i IN. 2007, KULIKOWSKA 2009). W ściekach oczyszczonych przekroczone jest także stężenie fosforu ogólnego, dlatego odprowadzenie tak oczyszczonych ścieków do odbiornika może powodować jego eutrofizację.

Podsumowanie

1. Rezultaty przeprowadzonych badań wykazały, że proces oczyszczania ścieków będących mieszaniną odcieków składowiskowych (5% obj.) ze ściekami syntetycznymi (95% obj.) nie zapewnia odpowiednio wysokiego stopnia ich oczyszczenia.

2. Stwierdzono, że wzrost stężenia osadu czynnego w bioreaktorze membranowym miał nieznaczny wpływ na efektywność jego pracy. Mimo wysokiego stopnia usunięcia ładunku zanieczyszczeń ze współoczyszczanych odcieków, zawartość substancji biogenych w ściekach odprowadzanych z bioreaktora przekraczała wartości dopuszczalne.

3. W celu doczyszczenia ścieków zastosowano proces odwróconej osmozy, który pozwolił na usunięcie pozostałych po biologicznym oczyszczaniu zanieczyszczeń, umożliwiając bezpośrednie ich wprowadzenie do odbiornika naturalnego, bez negatywnych skutków dla środowiska.

4. Należy podkreślić, że dodatkową zaletą bioreaktora membranowego w porównaniu z klasyczną metodą osadu czynnego jest – oprócz pełnienia roli osadnika wtórnego – także zatrzymywanie wielkocząsteczkowych substancji refrakcyjnych. Dzięki temu wydłuża się czas kontaktu związków trudno biodegradowalnych z biomasą.

Literatura

- BODZEK M., BOHDZIEWICZ J., KONIECZNY K., 1997. Techniki membranowe w ochronie środowiska. Wyd. PŚI, Gliwice.
- VAN DIJK L., ROCKEN G.C.G., 1997. Membrane bioreactors for wastewater treatment: the state of art and new development. *Water Sci. Technol.* 35, 10: 35-41.
- KULIKOWSKA D., 2009. Charakterystyka oraz metody usuwania zanieczyszczeń organicznych z odcieków pochodzących z ustabilizowanych składowisk odpadów komunalnych. *Ecol. Chem. Eng. S* 16, 3: 389-402.
- LINDE K., JONSSON A., WIMMERSTEDT R., 1995. Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis. *Desalination* 101: 21-30.
- NECZAJ E., OKONIECKA E., KACPRZAK M., 2005. Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor. *Desalination* 185: 357-362.
- PODSZEBKA A., WAWRZYŃCZYK J., 2002. Zastosowanie technologii mikrofiltracji ZeeWeed® do uzdatniania zanieczyszczonych wód powierzchniowych dla produkcji wody pitnej. *Zesz. Nauk. P. Śl.* 46: 137-146.
- 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. 2009. *Dz. U.* 27, poz. 169.
- SZYŁAK-SZYDŁOWSKI M., GRABIŃSKA-ŁONIEWSKA A., REYNAERTS M., SKRZYPIEC M., 2007. Wpływ obciążenia osadu czynnego na efektywność podczyszczania odcieków w reaktorze SBR. W: VIII Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Politechnika Warszawska. Warszawa: 611-622.
- URASE T., SELEQUZZAMAN M., KOBAYASHI S., MATSUA T., YAMAMOTO Y., SUZUKI N., 2007. Effect of high concentration of organic and inorganic matters in landfill leachate on the treatment of heavy metals in very low concentration level. *Water Sci. Technol.* 36, 12: 349-356.

THE INFLUENCE OF THE ACTIVATED SLUDGE CONCENTRATION ON THE DEGREE OF THE PURIFICATION OF THE MUNICIPAL LANDFILL LEACHATE IN THE MEMBRANE BIOREACTOR

Summary. The investigation was aimed at determining the most optimum activated sludge concentration during the co-treatment of the municipal landfill leachate mixed with synthetic sewage. The study was carried out in the membrane bioreactor operated as SBR in the 12-hour cycle. The concentration of the biomass was changed from 4 to 28 g/dm³. The activated sludge load was kept at the constant level equal to 0.1 g COD per 1 g_{DM} during 24 h, and the concentration of the oxygen in the reactor chamber was equal to 4 g O₂ per 1 m³. The share of the leachate in the co-treated mixture was at the level of 5vol.%. The degree of removal of the impurities load was estimated basing on the change of values of the following parameters: COD, BOD₅, N-NO₃, N-NH₄, P_{tot}. The leachate treated in the membrane bioreactor was polished in the reverse osmosis process.

Key words: membrane bioreactor, ultrafiltration, municipal landfill leachate

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Ewa Puszczalo, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska w Gliwicach, ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, Poland, e-mail: Ewa.Puszczalo@polsl.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

16.08.2011

Do cytowania – For citation:

*Puszczalo E., Świerczyńska A., Bohdziewicz J., 2011. Wpływ stężenia osadu czynnego na stopień oczyszczenia odcieków ze składowiska komunalnego w bioreaktorze membranowym. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 4, #74.*