

Krystyna KONIECZNY, Joanna ĆWIKŁA

Inżynierii Wody i Ścieków
Politechnika Śląska
Centralna Oczyszczalnia Ścieków w Gliwicach

ZASTOSOWANIE WODY Z ODNOWY PO MIKROFILTRACYJNYM DOCZYSZCZANIU

THE USE OF WATER RECOVERED DURING MICROFILTRATION POLISHING TREATMENT

Opracowywanie nowych technologii, które sprzyjałyby zarówno człowiekowi jak i środowisku spełnia oczekiwania stawiane w idei zrównoważonego rozwoju. Proponowane wykorzystanie technik membranowych, szczególnie że znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, są coraz bardziej atrakcyjne zarówno technicznie jak i ekonomicznie, mogą stać się podstawowymi metodami stosowanymi w celu uzdatniania i odnowy wody, ale także i oczyszczania ścieków i strumieni odpadowych pochodzących z różnych gałęzi przemysłu. Ścieki oczyszczone stanowią doskonały produkt, który po odpowiednim uzdatnieniu można ponownie wykorzystać w procesach technologicznych oczyszczalni zamiast wody wodociągowej. Podjęto próbę doczyszczania tych ścieków w procesie mikrofiltracji. Badania prowadzono na instalacji pilotowej Pall Aria, uzyskując znaczną redukcję zawiesiny i bakterii. Ta fizyczna dezynfekcja wody jest dodatkowym atutem zastosowanej metody, gdyż wyniki jakościowych i ilościowych analiz bakteriologicznych otrzymanego permeatu są porównywalne z wymaganiami stawianymi wodom powierzchniowym, przez co permeat ten może być stosowany również do nawadniania terenów zielonych, bez ryzyka narażenia zdrowia pracowników i rozprzestrzenienia chorób.

The development of novel technologies, that would be both, civilization and environmental friendly fulfills the assumptions of sustainable development. The application of membrane processes is already of a great interest in that field, especially as they can be used in many branches of the industry, are economically and technically attractive and it is possible they will become the main method of water production and municipal and industrial wastewater treatment. The purified wastewater may be a great material, which after proper treatment, can be reused as technological water instead of fresh water at the treatment plant. Thus, authors performed the study on the wastewater polishing via microfiltration. The research were carried out with the use of Pall Aria pilot installation and the reduction of the suspended solid and bacteria content was obtained. Such a physical disinfection of water is an additional advantage of the membrane filtration, as the results of quantitative and qualitative analysis of the permeate correspond to the requirements stated for surface water. Thus, the purified stream may be also used to watering purposes without any health or bacteriological hazards.

1. Wprowadzenie

Zasoby wodne w Polsce, przypadające na jednego mieszkańca, są mniejsze niż w krajach sąsiednich i znacznie niższe niż przeciętne w Europie. Polska wraz z Belgią znajduje się pod tym względem na ostatnim miejscu w Europie [1,2]. Dodatkowo powszechnym problemem w krajach europejskich jest nadmierne zanieczyszczenie i lekkomyślne wykorzystywanie zasobów wodnych, które traktuje się jako źródło niewyczerpywalne. Stąd też każde ograniczenie zużycia wody, w szczególności wody zdanej do picia, przynieść może korzyści zarówno obecnym, jak i przyszłym pokoleniom, gdyż perspektywa niedoborów wody nie jest w Polsce nierealna – w czasie suszy hydrologicznej 1982-1984 brak wody odczuwało 10 286 tj. ¼ miejscowości wiejskich w kraju [3].

Ponadto postępujący od początku XX wieku rozwój cywilizacji i związany z nim wzrost liczby ludności skutkują ogromnym zapotrzebowaniem na żywność, w tym produkty pochodzenia zwierzęcego. Ponadto, działalność ta generuje ogromne zużycie wody, do źródeł której dostęp staje się coraz bardziej ograniczony. O ile woda przeznaczona na polewanie upraw zostaje z powrotem wprowadzona do naturalnego obiegu, o tyle ta wykorzystywana na fermach wielkoprzemysłowych staje się głównym składnikiem jednego z najbardziej problematycznych odpadów rolniczych jakim jest np. gnojowica oraz ścieki po procesie oczyszczania jako woda z odnowy.

Ścieki miejskie uznawane są za jeden z rodzajów odpadów. Zawierają one całą gamę zanieczyszczeń, spośród których niebezpieczne dla środowiska i człowieka są różne rodzaje zanieczyszczeń przemysłowych, zanieczyszczenia mikrobiologiczne (bakterie, wirusy, pasożyty) oraz toksyczne związki mineralne (metale ciężkie) [5]. Powszechnie podejmowanym działaniem, mającym na celu ich zagospodarowanie jest oczyszczanie, po którym ścieki te odprowadzane są do wód powierzchniowych lub gleby. Obecnie, w obliczu coraz bardziej zauważalnego na świecie problemu deficytu czystej wody, ścieki miejskie postrzegane są jako alternatywne jej źródło [1,4].

2. Ścieki oczyszczone jako alternatywne źródło wody

Organizacje międzynarodowe opracowały wytyczne dotyczące ponownego wykorzystania oczyszczonych ścieków komunalnych, jednak na szczeblu UE nie ma obecnie konkretnych uregulowań prawnych odnoszących się do tej kwestii. Art. 12 Dyrektywy 91/271/EWG mówi, że „oczyszczone ścieki wykorzystuje się powtórnie, w każdym przypadku, gdy jest to możliwe. Drogi usuwania muszą do minimum ograniczać skutki niekorzystne dla środowiska”. Dyrektywa nie podaje jednak wspólnych kryteriów, które te ścieki musiałyby spełniać [6].

Ścieki oczyszczone stanowią doskonale medium, które po odpowiednim uzdatnieniu można ponownie wykorzystać w procesach technologicznych oczyszczalni zamiast wody wodociągowej. Ścieki wypływające z osadników wtórnych są na oczyszczalniach powszechnie używane do płukania tkanin filtracyjnych pras, oraz do gaszenia piany w komorach fermentacyjnych, ponieważ jednak niosą one ze sobą pewne ilości drobnej zawiesiny, mogą powodować problemy z eksploatacją urządzeń (zatykanie otworów w dyszach urządzeń odwadniających, zatykanie układów zraszających w komorach fermentacyjnych itp.).

2.1. Wykorzystanie ścieków oczyszczonych na przykładowej oczyszczalni – stan istniejący

Przykładowa oczyszczalnia jest mechaniczno-biologiczną oczyszczalnią z chemicznym wspomaganie usuwania fosforu, z beztlenową stabilizacją osadu czynnego oraz odzyskiem biogazu dla celów energetycznych i ciepłych. Oddana została do eksploatacji w czerwcu 2002r. Zaprojektowana została na przyjęcie 51 000 m³/d. Oczyszczenie wprowadzanych ścieków jest realizowane do wartości zgodnych zarówno z ustawodawstwem polskim, jak i dyrektywą Unii Europejskiej 91/271/EWG. Średnioroczny przepływ przez oczyszczalnię w 2008r wynosił około 32 000 m³/d.

W niektórych procesach stosowanych w oczyszczalni wykorzystuje się ścieki oczyszczone zamiast wody wodociągowej: służą one do płukania tkanin filtracyjnych w taśmowych prasach odwadniających oraz podawane są do układu gaszenia piany w komorach fermentacyjnych. Dobowe zużycie tych ścieków jest różne w zależności od panujących warunków, największe w okresie wiosennym, gdy na skutek masowego rozwoju bakterii nitkowatych w reaktorach biologicznych pogarszają się również warunki procesowe w komorach fermentacyjnych powodując w efekcie pienie się osadów [7]. W 2008r. na oczyszczalni wykorzystano powtórnie około 42 000 m³ ścieków.

2.2. Wady i zalety stosowania ścieków oczyszczonych

Mimo, że praktyka ponownego kierowania ścieków oczyszczonych do procesów technologicznych stosowana jest obecnie standardowo na nowoczesnych oczyszczalniach, nie jest ona pozbawiona wad. Ścieki oczyszczone noszą ze sobą drobną zawiesinę (np. do 35 mg/l), mogą zawierać również niewielkie przedmioty, którym udało się pokonać wszystkie objekty oczyszczalni - jak np. patyczki do uszu. Zanieczyszczenia takie są bardzo kłopotliwe, z uwagi na to, że są cienkie i krótkie a przy odpowiednim ułożeniu przedostają się przez kraty. Są lekkie, więc nie opadają ani w piaskownikach ani w osadnikach wstępnych – na oczyszczalni gromadzą się masowo w przelewie z reaktora biologicznego, skąd usuwane są raz na 1-2 tygodnie z wykorzystaniem samochodu asenizacyjnego. Niektóre przedostają się do osadników wtórnych i wraz ze ściekami oczyszczonymi mogą trafiać do instalacji podającej ścieki do ponownego wykorzystania.

Kolejnym zanieczyszczeniem powstającym po pewnym czasie w urządzeniach pracujących ze ściekami oczyszczonymi są glony. Pompy muszą być czyszczone, co najmniej raz na 1-2 miesiące z powodu gromadzenia się w nich nitkowatej flory rozwijającej się w ściekach, które mimo, że spełniają wymagania pozwolenia wodno prawnego, nadal są doskonałą pożywką dla glonów. Mazista powłoka osadów roślinnych i drobin osadu czynnego pokrywa również dysze płuczące w prasach filtracyjnych. Wprawdzie urządzenia te mają zamontowane specjalne szczotki, za pomocą których można przeprowadzić cykl automatycznego czyszczenia, jednak nie zawsze jest ono skuteczne i okresowo dysze trzeba rozkręcać i czyścić ręcznie.

Najbardziej uciążliwym problemem, jaki stwarza użytkowanie ścieków oczyszczonych jest zatykanie się zraszaczy kątowych zamontowanych w układzie gaszenia piany. Ponieważ znajdują się one wewnątrz komór fermentacyjnych, brak jest dostępu do nich. Już obecnie zaobserwowano, że spośród 4 zraszaczy w każdej z komór skutecznie pracuje tylko jeden – pozostałe zostały prawdopodobnie przytkane zanieczyszczeniami niesionymi przez ścieki,

ewentualnie zarosły osadem biologicznym. Zrasczacze takie mogą być wyczyszczone jedynie podczas awaryjnego opróżnienia komory z osadu, czego żaden z eksploatorów nie życzy sobie w swojej pracy, gdyż jest to jedna z najbardziej niebezpiecznych prac na oczyszczalni.

Z powyższych powodów celem jest dodatkowe uzdatnienie ścieków oczyszczonych, które wyeliminowałoby opisane powyżej problemy, a dodatkowo stworzyłoby nowe możliwości wykorzystania tych ścieków – np. do podlewania terenów zielonych. Dotychczas nie używano do tego celu tego typu wody z odnowy, gdyż nie była ona poddawana dezynfekcji. Jedną z zalet którą należy podkreślić to możliwość obniżenia zużycia wody wodociągowej do uprawy terenów zielonych, rekreacyjnych np. boiska do golfa.

3. Odnowa ścieków oczyszczonych w procesie mikrofiltracji

Na Centralnej Oczyszczalni Ścieków przeprowadzono badania możliwości odnowy wody ze ścieków oczyszczonych na instalacji pilotowej Pall Microza, dostarczonej przez firmę Pall Poland. Badania prowadzono przez okres 2 tygodni, poddając mikrofiltracji ścieki oczyszczone w ilości 2,5-3 m³/h.

Moduł Pall Microza wykorzystuje chronioną prawnie technologię membran kapilarnych wykonanych z polichlorku winylidenu (PVDF), pracujących w układzie od zewnątrz do wewnątrz. Cząstki ciała stałego zatrzymywane na powierzchni membran usuwane są poprzez okresowe wsteczne przemywanie i przedmuchiwanie sprężonym powietrzem oraz czyszczenie chemiczne za pomocą roztworu podchlorynu sodu i wodorotlenku sodu.

Podstawowe dane techniczne modułu UNA 620A są następujące:

- średnica porów: 0,1-0,3 μm,
- powierzchnia membrany: 50 m²,
- max różnica ciśnień na membranie: 0,3 MPa,
- max temperatura robocza: 313 K,
- zakres pH: 1-10,
- długość modułu: 2240 mm,
- średnica modułu: 165 mm.

Stacja zapewniała możliwość automatycznej kontroli przebiegu procesu. Płukanie wsteczne za pomocą wody i sprężonego powietrza przeprowadzono z częstotliwością raz na pół godziny, natomiast czyszczenie chemiczne, początkowo ustawione z częstotliwością raz na tydzień zoptymalizowano podczas trwania badań do raz na dobę, z uwagi na wzrost oporów filtracji powyżej 0,2 MPa po 24 godzinnej pracy układu.

Ścieki powstałe podczas tzw. płukania wstecznego oraz permeat z instalacji kierowane były do kanalizacji zakładowej skąd zawracane były do ciągu technologicznego oczyszczalni.

3.1. Uzyskane wyniki badań

Podczas pracy instalacja pilotowa analizowała automatycznie wydajność instalacji, mętność ścieków surowych oraz permeatu po mikrofiltracji, przewodność permeatu i opory filtracji. Dodatkowo wykonywano analizy fizykochemiczne i bakteriologiczne ścieków oraz permeatu.

Wyniki analiz przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tab. 1. Wybrane wyniki analiz fizykochemicznych ścieków i permeatu

Tab. 1. Selected results of physical and chemical analysis of sewage and permeat

Parametr	Metoda pomiarowa	Ścieki oczyszczone (po osadnikach) Średnia z jednego miesiąca	Średni permeat z analiz
ChZT mg O ₂ /dm ³	PN-ISO 15705	42,3	30,6
BZT ₅ mg O ₂ /dm ³	PN EN 1899-1:1999 PN EN 1899-2:1999	9,2	1,83
Zawiesina _{og} mg/ dm ³	PN-EN 872:2005	4,19	< 2
Mętność FNU (NTU)	(Odczyt z panelu)	3	0,13

Pozostałe parametry fizykochemiczne ścieków zmieniały się nieznacznie po procesie mikrofiltracji w stacji pilotowej, w związku z czym nie były one analizowane. Zawiesina w permeacie miała stężenie poniżej granicy oznaczalności metody.

Oceniając ścieki pod względem mikrobiologicznym największą wagę skierowano na zawartość bakterii uznawanych za wskaźniki mikrobiologiczne zanieczyszczenia wód powierzchniowych [8], czyli do bakterii grupy coli typu kałowego oraz bakterii grupy coli. Pozostałe oznaczenia wykonano dodatkowo, w celu umożliwienia przeprowadzenia szerszej analizy jakości mikrobiologicznej permeatu oraz skuteczności zatrzymywania mikroorganizmów przez membranę.

Tab. 2. Wyniki analiz mikrobiologicznych ścieków i permeatu

Tab. 2. Results of microbiological analysis of sewage and permeat

parametr	Ścieki oczyszczone (po osadnikach)		Permeat			
	I seria	II seria	I a seria	I b seria	II a seria	II b seria
Liczba kolonii mikroorg. w temp. 37oC po 48h (w 1 ml)	105	105	7	184	556	25
Liczba kolonii mikroorg. w temp. 22oC po 72h (w 1 ml)	nie oznaczano	105	nie oznaczano	nie oznaczano	730	35
Bakterie grupy coli (w 100 ml)	5 900	104	0	0	0	0
Escherichia coli i bakterie grupy coli typ kałowy (w 100 ml)	5 500	104	0	0	0	0
Enterokoki - paciorkowce kałowe (w 100 ml)	9 100	104	0	0	0	0
Salmonella (w 100 ml)	0	0	0	0	0	0

3.2. Omówienie uzyskanych wyników

Proces mikrofiltracji prowadzony na instalacji Pall Microza usuwał skutecznie ze ścieków drobne zawiesiny (redukując je do ilości poniżej granicy oznaczalności metodą referencyjną) oraz zmniejszał BZT₅ i ChZT ścieków. Odnotowano również wysoką skuteczność oczyszczenia ścieków z bakterii chorobotwórczych – wprawdzie przez pory membrany przedostały się pewne ilości mniejszych bakterii, jednak nie były to bakterie coli typu kałowego ani paciorkowce kałowe.

Ilość bakterii w permeacie zależała również od czasu pracy membrany liczonego od momentu kontaktu ze środkiem myjąco – odkażającym. Próbę I a (najmniej kolonii - 7) pobrano po 20 minutach od włączenia instalacji po czyszczeniu, natomiast próbę II a (najwięcej wyhodowanych kolonii - 556) bezpośrednio przed wywołaniem cyklu „mycia chemicznego”. Wątpliwe jest w tym przypadku, aby zmieniały się właściwości membrany – należy raczej uznać, że zwiększona ilość bakterii w próbie II a jest efektem narastającej penetracji małych bakterii wodnych w warunkach ich znacznego zatężania w strumieniu retentatu. Stopień zatrzymania jest jednak nadal wysoki nawet w tym przypadku i wynosi 99,4%. Mógłby on być zwiększony poprzez zastosowanie modułów przeznaczonych do uzdatniania wody pitnej (moduł UNA przeznaczony jest do zastosowań przemysłowych) jednak dla celów higienizacji ścieków oczyszczonych nie jest to konieczne.

Serie I b i II b pobierano po około 4 h pracy instalacji od momentu mycia chemicznego. W pierwszym tygodniu badań (seria I) skupiono się głównie na bakteriach pochodzących z przewodu pokarmowego człowieka. W drugim tygodniu, w celu uzyskania większej ilości informacji o pracy instalacji, rozszerzono zakres analiz do wykonania o kolonie mikroorganizmów hodowanych w temperaturze 22°C przez 72h.

Należy zwrócić uwagę, że permeat uzyskany we wszystkich próbach odpowiadał jakością mikrobiologiczną wymaganiom stawianym wodom powierzchniowym zaliczanym do I klasy czystości.

Zaobserwowano stopniowo narastające opory filtracji, skutkujące koniecznością codziennego czyszczenia membran metodami chemicznymi, ponieważ jednak odbywało się to w trybie automatycznym, nie było zbyt uciążliwe w eksploatacji.

4. Wnioski

Badania potwierdziły możliwość skutecznej odnowy wody z oczyszczalni ścieków w procesie mikrofiltracji. Otrzymano wodę z odnowy, która dzięki niewielkiej zawartości zawieszin nie będzie powodowała zanieczyszczenia urządzeń. Dodatkowo stworzono również możliwość wykorzystania odnowionej wody w większym zakresie niż miało to miejsce do tej pory – ścieki po oczyszczeniu w instalacji Pall Microza są bezpieczne sanitarnie (nie stwarzają ryzyka rozprzestrzeniania chorób) przez co mogą być stosowane np. do podlewania terenów zielonych. Ponieważ mikrofiltracja nie usuwa rozpuszczonych w ściekach związków biogenych, mogą być one traktowane dodatkowo jako nawóz. Zalety tej metody pozwalają na stwierdzenie, że jest ona słuszną do zastosowania w oczyszczalniach ścieków i do innych aplikacji, gdyż przyczynia się ona do większej dbałości o odnowę wód w odbiornikach naturalnych takich jak rzeki i jeziora czy ujęcia głębinowe. Mikrofiltracyjne doczyszczenie ścieków przyczyni się również do oszczędności w zużyciu wody pitnej do podlewania terenów rolniczych.

Praca naukowa finansowana ze środków na badania statutowe Instytutu Inżynierii Wody i Ścieków Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Bibliografia

- [1] Solecka M., Szopa J.S., Przykłady instalacji odnowy wody ze ścieków miejskich. *Gaz woda i technika sanitarna*, 2008, 5, 33-26
- [2] Kaczmarek Z., Gospodarka wodna w Polsce u progu XXI wieku. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 2005, vol.32, 27-40
- [3] Gładzki R., Działania w zakresie budowy indywidualnych wiejskich oczyszczalni ścieków w województwie łódzkim. *Gaz, woda i technika sanitarna*, 2008, 5, 37-41
- [4] Heinzmann B., Möller K., Advanced treated wastewater as an important resource for supporting and improving the water situation in the region south of Berlin, IWA Specialized Conference Nutrient Management in Wastewater Treatment Processes and Recycle Streams, Krakow 19-21 September 2005, 1315-1316
- [5] Kurbiel J., Bartoszewski K., Oczyszczanie ścieków komunalnych. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 2002, vol. 10, 85-114

- [6] Debata z 13 grudnia 2007, Strassburg, pytanie 65 skierowane przez Stavros Arnautakis w sprawie „Wspólnych kryteriów odzyskiwania i ponownego wykorzystania ścieków miejskich” ,<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+CRE+20071213+ANN-01+DOC+XML+V0//PL&query=QUESTION&detail=H-2007-0950>
- [7] Ćwikła J., *Zastosowanie procesów membranowych do usuwania związków biogenych z wód osadowych oraz z kondensatu z suszenia osadów*. Praca doktorska, Politechnika Śląska 2010
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz.U. nr 32 poz.284)Na końcu referatu należy podać bibliografię zgodnie z poniższym formatem.