

Zbigniew SZWAST¹, Daniel POLAK², Maciej SZWAST²

e-mail: zbigniew.szwast@pw.edu.pl

¹ Zakład Procesów Rozdzielania, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej² Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Badanie wpływu parametrów procesowych na jakość i wielkość odzysku wody ze ścieków pralniczych**Wstęp**

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań nad membranowymi procesami oczyszczania ścieków opuszczających przemysłowe zakłady pralnicze. Oczyszczanie to ma doprowadzić do uzyskania ze ścieków wody przemysłowej nadającej się do zawrócenia do procesu pralniczego, przynajmniej do prania wstępnego. Musi też być zapewnione utrzymanie możliwie niezmiennych właściwości membran w czasie procesu oczyszczania ścieków.

Prezentowane badania są częścią realizowanych obecnie badań prowadzonych w ramach polsko-niemieckiego projektu badawczego poświęconego właśnie membranowemu oczyszczaniu ścieków powstałych w zakładach pralniczych. Polskimi uczestnikami zawiązanego konsorcjum naukowego są: *Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej, PolymemTech sp. z o.o.* oraz pralnia *Hollywood Textile Service sp. z o.o.* w Sierpcu. Liderem polskiego konsorcjum naukowego jest *Wydział IChP PW*.

Założenia projektowe

Zgodnie z założeniami projekt dotyczy membranowego oczyszczania ścieków przemysłowych, takich jak ścieki powstające w pralni *Hollywood Textile Service sp. z o.o.* w Sierpcu. W pralni tej prane są m.in. wsady pralnicze dostarczane przez szpitale, co powoduje, że ścieki opuszczające tę pralnię są ściekami szczególnie niebezpiecznymi. Ścieki pobrane do badań charakteryzowały się mętnością 71 NTU i ChZT= 2771 mgO₂/l. W omawianym procesie są wykorzystywane moduły membranowe wyprodukowane w *PolymemTech Sp. z o.o.* zawierające porowate membrany polipropylonowe. Są to moduły niekomercyjne, wyprodukowane dla potrzeb niniejszego projektu. Ich parametry będą omówione w dalszym tekście.

W pralniach przemysłowych zużycie wody na 1 kg suchego wsadu pralniczego wynosi około 10 litrów. Przy skali produkcji 15 ton prania dziennie zużycie wody wynosi 150 m³ na dobę. Woda ta po procesie produkcyjnym stanowi ścieki, w których oprócz zanieczyszczeń z pranych tekstyliów są środki piorące w ilości kilku gramów na liter [Szwast i Polak, 2018].

Powyższe dane liczbowe pozwalają ocenić poziom trudności w realizacji zadania, jakie stoi przed inżynierami ochrony środowiska. Dotyczą one zarówno oszczędzania świeżej wody doprowadzanej do pralni, jak i zmniejszenia objętości ścieków odprowadzanych z pralni. Jednocześnie dane pokazują wagę tego zagadnienia dla ochrony środowiska, rozwiązywanego w ramach projektu polsko-niemieckiego.

Dotychczasowe strategie zagospodarowania ścieków pralniczych są niewystarczające. Istnieje potrzeba odzysku wody, a także części detergentów. Już pierwsze, prowadzone w ramach niniejszej pracy, badania pokazują, że odzyskana ze ścieków woda wraz z częścią detergentów może być ponownie użyta w etapie prania wstępnego bez negatywnego wpływu na jakość procesu prania [Ciabatti i in., 2009; Sostar-Turk i in., 2005].

Analiza wpływu wybranych parametrów procesowych na szybkość otrzymywania permeatu

Przystępując do badań przedstawionych w niniejszej pracy autorzy nie dysponowali żadnymi wcześniejszymi badaniami odnośnie zachowania się osadu powstałego z badanego ścieku na powierzchni i w porach wykorzystywanych membran. Po rozważaniach teoretycznych zdecydowano, aby badania doświadczenia rozpocząć od

określenia wpływu odpowiednio ciśnienia nadawy i szybkości przepływu retentatu wzdłuż membrany na strumień permeatu.

W tym przypadku obowiązuje uogólnione prawo *Ohma*, czyli równanie opisujące związek między przepływem permeatu Q_p , siłą napędową procesu (jaką jest tu różnica ciśnień Δp płynu po obu stronach membrany) i całkowitym oporem procesu R złożonym z oporu membrany R_m i oporu osadu R_o .

$$Q_p = \frac{\Delta p}{R} = \frac{\Delta p}{R_m + R_o} \quad (1)$$

Ciśnienie nadawy, które obok szybkości przepływu retentatu wzdłuż membrany, zostało wybrane do badań wstępnych osiąga wartości kilku bar. Z kolei ciśnienie permeatu jest zwykle równe ciśnieniu atmosferycznemu. Widać zatem, jak duży wpływ na wartość siły napędowej (różnicy tych dwóch ciśnień) ma ciśnienie nadawy. Siła napędowa, a więc również ciśnienie nadawy, powoduje przemieszczenie cieczy ze strony nadawy/retentatu na stronę permeatu. Przemieszczaniu się cieczy towarzyszy powstawanie osadu na powierzchni membrany po stronie retentatu. Ciśnienie nadawy działa też na cząstki zawarte w powstałym osadzie, co z punktu widzenia skuteczności procesu jest działaniem negatywnym. Cząstki gromadzącego się osadu pod wpływem ciśnienia nadawy są wypchane do porów membrany i blokują przepływ cieczy. Tym samym zwiększają całkowity opór procesu. Mogą pozostać tam na stałe lub mogą być przepchane na drugą stronę membrany do przestrzeni permeatu. Towarzyszy temu spadek całkowitego oporu procesu, ale cząstki które przedostały się do permeatu pogarszają jego jakość, m.in. rośnie mętność permeatu.

Grubość warstwy tego osadu można zmniejszyć zwiększając szybkość przepływu retentatu wzdłuż powierzchni membrany. Przepływający retentat porywa cząstki osadu. Chwilowa grubość osadu zależy od szybkości jego powstawania na skutek ubytku cieczy w przestrzeni retentatu, wobec jej przejścia przez membranę do przestrzeni permeatu oraz od szybkości porywania osadu przez retentat.

Ważny jest wpływ szybkości przepływu retentatu na wielkość cząstek, które pojawiają się w przestrzeni nadawy (retentatu). Np. do białek (pranie wsadów szpitalnych) dołączają się detergenty tworząc micelle, czyli duże struktury przestrzenne. W korzystnym (z punktu widzenia efektywności procesu oczyszczania ścieków) zakresie wartości szybkości przepływu retentatu struktury te nie są niszczone i jako cząstki duże opuszczają moduł wraz z retentatem. Z kolei w niekorzystnym zakresie wartości szybkości przepływu retentatu micelle rozpadają się, a elementy rozpadu mogą przedostawać się przez membranę do permeatu, pomniejszając tym samym jego jakość. O jakości permeatu może świadczyć wartość jego ChZT.

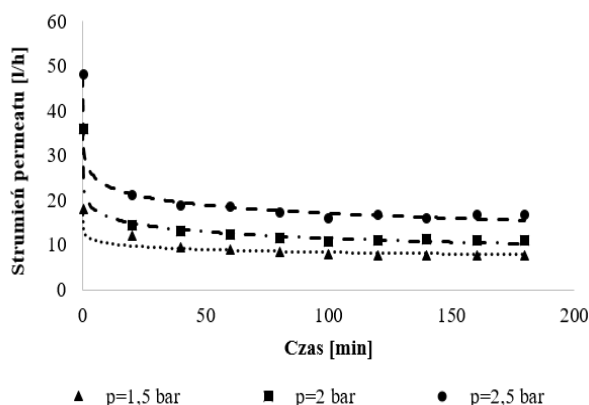
Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze było typowym układem filtracyjnym, w skład którego wchodziła pompa, zawory regulacyjne, zbiornik nadawy i moduł membranowy. Najważniejszym elementem stanowiska był moduł membranowy wykonany przez *PolymemTech* w Warszawie. Jest on zbudowany z 20 kapilarnych membran polipropylonowych każda o długości 100 cm oraz o średnicy wewnętrznej 1,8 mm i zewnętrznej 2,6 mm i średniej średnicy pora 0,3 μ m. Nadawa zasilala wnętrze kapilar, zaś permeat pojawiał się po zewnętrznej stronie, to znaczy w przestrzeni międzyrurkowej modułu. Całkowita powierzchnia filtracyjna modułu wynosiła 113 cm².

Dzięki zainstalowaniu dwóch zaworów (na strumieniu retentatu i na pętli recykulacyjnej pompy) instalacja umożliwiała jednoczesne ustawienie wartości ciśnienia nadawy i przepływu retentatu.

Wyniki i dyskusja

Wykonano sześć pomiarów pozwalających określić zmienność strumienia permeatu w czasie dla określonych wartości wybranych parametrów. Trzy pierwsze pomiary wykonano dla zadanego strumienia retentatu $Q_r = 460$ l/h i różnych zadanych ciśnień nadawy. Wyniki przedstawiono na rys. 1 oraz w tab. 1 i 2. Trzy następne pomiary wykonano dla zadanego ciśnienia nadawy $p = 2,5$ bar i różnych zadanych przepływów retentatu. Wyniki przedstawiono na rys. 2 oraz w tab. 3 i 4. Każdy pomiar zakończono określeniem mętności permeatu i jego ChZT. Każdy z sześciu pomiarów wykonywano z wykorzystaniem nowego modułu (takiego samego jak użyty w pomiarze poprzednim).



Rys. 1. Zmiana strumienia permeatu w czasie dla zadanego strumienia retentatu $Q_r = 460$ l/h i różnych ciśnień nadawy

Z rys. 2 wynika, że strumień permeatu, niezależnie od zastosowanego ciśnienia nadawy maleje wraz z upływem czasu pracy. Najpierw dość gwałtownie, gdy nabudowuje się warstwa osadu, a potem następuje praca niemal w warunkach ustalonych wynikających z omawianego kompromisu pomiędzy powstawaniem a zanikiem osadu. Największy strumień jest dla najwyższego ciśnienia (2,5 bar). Wykorzystując wyniki doświadczeń i równ. (1) obliczono całkowite opory membran wraz z osadem dla wszystkich ciśnień nadawy i wybranych momentów pracy. Wyniki obliczeń zamieszczono w tab. 1. Łatwo zauważyć, że największe przepływy permeatu dla najwyższego ciśnienia nadawy mogą być skutkiem przepychania małych cząstek na drugą stronę membrany i otwierania tym samym drogi dla cieczy, ale również dla małych cząstek zwiększających mętność permeatu, co potwierdzają wyniki analizy (Tab. 2).

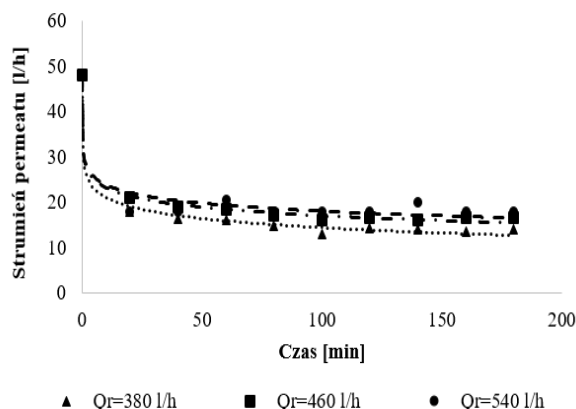
Z doświadczeń przeprowadzonych dla ustalonego ciśnienia nadawy $p = 2,5$ bar i różnych przepływów retentatu wynikają praktycznie te same wnioski, co z doświadczeń poprzedniej serii wykonanej dla ustalonego przepływu retentatu na poziomie $Q_r = 460$ l/h.

Tab.1. Całkowity opór hydrauliczny membrany dla zadanego strumienia retentatu $Q_r = 460$ l/h i różnych ciśnień nadawy

Czas, [min]	Ciśnienie nadawy p [bar]		
	1,5	2	2,5
0,5	0,0833	0,0556	0,0521
60	0,1667	0,1611	0,1354
120	0,1979	0,1806	0,1493
180	0,1958	0,1806	0,1493

Tab.2. Parametry strumienia permeatu dla zadanego strumienia retentatu $Q_r = 460$ l/h i różnych ciśnień nadawy

Parametr	Ciśnienie nadawy p [bar]		
	1,5	2	2,5
Mętność permeatu, [NTU]	1,03	1,35	2,29
ChZT permeatu, [mgO ₂ /l]	1268	1090	1026



Rys. 2. Zmiana strumienia permeatu w czasie dla zadanego ciśnienia nadawy $p = 2,5$ bar i różnych przepływów retentatu

Z rys. 2 wynika, że strumień permeatu niezależnie od ustalonej wartości przepływu retentatu maleje wraz z upływem czasu pracy. Najpierw gwałtownie, a potem następuje praca niemal w warunkach ustalonych. Najmniejszy strumień permeatu jest dla najmniejszego strumienia retentatu. Wtedy opór jest największy (Tab. 3), ale za to permeat jest najwyższej jakości – 1,5 NTU (Tab. 4).

Tab.3. Całkowity opór hydrauliczny membrany dla zadanego ciśnienia nadawy $p = 2,5$ bar i różnych przepływów retentatu

Czas, [min]	Q_r , [l/h]		
	380	460	540
0,5	0,0521	0,0521	0,0521
60	0,1563	0,1354	0,1215
120	0,1736	0,1493	0,1389
180	0,1771	0,1493	0,1389

Tab. 4. Parametry strumienia permeatu dla zadanego ciśnienia nadawy $p = 2,5$ bar i różnych przepływów retentatu

Parametr	Q_r , [l/h]		
	380	460	540
Mętność permeatu, [NTU]	1,5	2,29	3,82
ChZT permeatu, [mgO ₂ /l]	825	1026	1052

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione badania koncentrowały się na doborze warunków procesowych, które zapewnią odpowiednio wysoki odzysk wody ze ścieków przy zachowaniu dobrej jakości permeatu i utrzymaniu możliwie niezmiennych właściwości membran w czasie trwania procesu oczyszczania ścieków.

Autorzy wyrażają przekonanie, że rozwiązanie problemu optymalizacyjnego pozwoli na wybór, w określonych warunkach, natężenia przepływu permeatu i optymalnej jego jakości.

LITERATURA

- Szwast M., Polak D., (2018). Nowe membrany do filtracji ścieków z pralni przemysłowych. *Przem. Chem.*, 97, 439-441. DOI: 10.15199/62.2018.3.19
- Ciabatti I., Cesaro F., Faralli L., Fatarella E., Tognotti F., (2009). Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. *Desalination*, 245(1-3), 451-459. DOI: 10.1016/j.desal.2009.02.008
- Sostar-Turk S., Petrinic I., Simonic M., (2005). Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resour. Conserv. Recycl.*, 44, 185-196. DOI: 10.1016/j.resconrec.2004.11.002

Praca wykonana w ramach współpracy polsko-niemieckiej finansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w II konkursie STAIR, projekt REWARD.