ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: INŻYNIERIA ŚRODOWISKA z.47 Nr kol. 1537

Janina PIEKUTIN[1], Lech MAGREL[1]

PRÓBA WYKORZYSTANIA ODWRÓCONEJ OSMOZY DO OCZYSZCZANIA WODY INFILTRACYJNEJ

Streszczenie. Pogłębiający się deficyt wód podziemnych i powierzchniowych w Polsce zwraca uwagę na szukanie nowych źródeł pozyskiwania wody. W artykule podjęto badania nad określeniem możliwości wykorzystania odwróconej osmozy do uzdatniania wody infiltracyjnej, będącej mieszaniną wody powierzchniowej i podziemnej.

THE ATTEMPT MAKING USE OF REVERSE OSMOSIS IN THE INFILTRATION WATER TREATMENT

Summary. The deepening shortage of underground water and surface water in Poland takes notice looking for new sources of getting water. The article makes an attempt to determine the possibilities to make use of the reverse osmosis for infiltration water treatment, which is the mix of surface water and underground water.

1. Wstęp

Naturalne zasoby wodne to głównie wody powierzchniowe i podziemne. Obszary deficytu wód powierzchniowych i podziemnych w Polsce powiększają się coraz bardziej. Jesteśmy jednym z uboższych w wodę krajów europejskich. Sytuację tę pogłębia niedobór retencji zbiornikowej i mała retencja glebowa, spowodowana przewagą gleb lekkich [1].

Wody infiltracyjne są mieszaniną wody powierzchniowej oczyszczonej przez grunt i wody podziemnej. Skład wód infiltracyjnych zależy od rodzaju i intensywności zjawisk fizycznych, chemicznych i biochemicznych zachodzących na trasie przepływu wody od źródła wody powierzchniowej do ujęcia wody po infiltracji [1].

[1] Politechnika Białostocka, Katedra Technologii Wody Ścieków i Osadów, ul. Wiejska 45B, 15-351 Białystok, e-mail: lmagrel@cksr.ac.bialystok.pl

W wyniku procesów jednostkowych przebiegających podczas infiltracji oraz mieszania z wodami podziemnymi, woda po infiltracji, w porównaniu z wodą powierzchniową, ma wyrównaną temperaturę oraz skład fizyczno-chemiczny – generalnie nabiera cech wód podziemnych. Jakość wody poinfiltracyjnej tym bardziej zbliża się do składu wody podziemnej, im dłuższy jest czas pasażu oczyszczanej wody w gruncie oraz większy udział wody podziemnej w wodzie infiltracyjnej [2].

Infiltracja jest procesem naturalnym i bezreagentowym, pozwalającym z dużą skutecznością usunąć z wody zawiesinę, koloidy, substancje rozpuszczone, bakterie, wirusy i glony oraz mikrozanieczyszczenia (np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, pestycydy, metale ciężkie) [2].

Uzdatnianie wód infiltracyjnych w technologii klasycznej przebiega przez szereg połączonych procesów jednostkowych: napowietrzanie, koagulację, filtrację i dezynfekcję. W rzeczywistości dla każdego ujęcia należy ustalić doświadczalnie sposób uzdatniania, ponieważ przy formalnie zbliżonym składzie podatność wody na usuwanie mikrozanieczyszczeń może być odmienna.

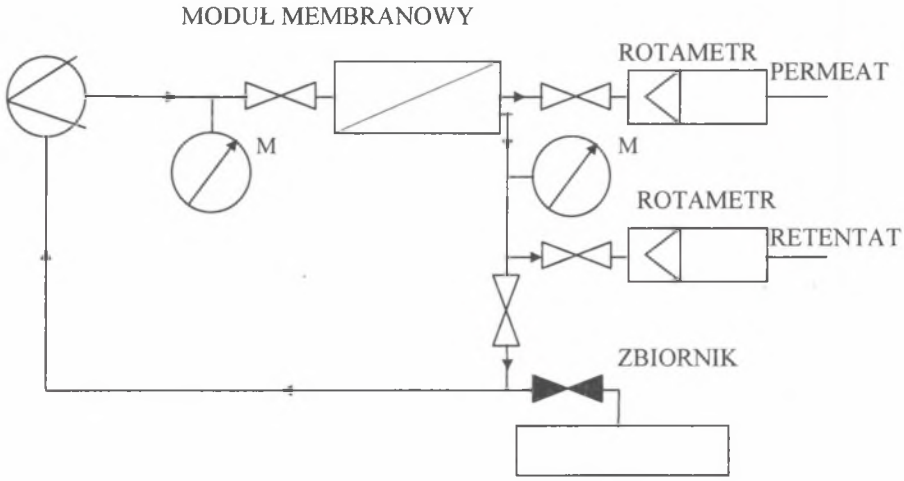
Wszystkie niedogodności związane z tradycyjnym uzdatnianiem (prawidłowe dozowanie koagulantów czy też produkty uboczne chlorowania) otwierają pole dla zastosowania nowych technik separacji, wśród których metody membranowe mają największe zalety i możliwości.

Procesy membranowe mogą zastępować z wysoką skutecznością wiele konwencjonalnych sposobów oczyszczania wody. Ponadto procesy membranowe mogą być łączone z uzupełniającymi procesami stosowanymi w uzdatnianiu wody, tworząc ciąg technologiczny uzdatniania [3].

Celem podjętych badań było określenie zmiany parametrów wody infiltracyjnej w okresie jednego roku oraz możliwości wykorzystania metody membranowej (a mianowicie odwróconej osmozy) do uzdatniania wody po infiltracji. Skuteczność procesu oceniono na podstawie współczynników retencji poszczególnych jonów w uzdatnianej wodzie i wielkości objętościowego strumienia permeatu.

2. Część doświadczalna

Proces RO prowadzono w układzie ciągłym z częściową recyrkulacją koncentratu [5] na instalacji firmy EURO-SEP z membraną z poliamidu aromatycznego o konstrukcji zwojowej i powierzchni 2,5 m^2.



Rys.1. Schemat instalacji do prowadzenia procesu RO wody infiltracyjnej
Fig.1. Schematic diagram of installation for infiltration water of reverse osmosis process

2.1. Metodyka badań

W celu zaobserwowania zmian stężeń parametrów wody infiltracyjnej badania prowadzono w okresach: maj-czerwiec, wrzesień-październik, listopad-grudzień, luty-marzec.

W związku z zapewnieniem optymalnej pracy modułu RO oznaczano tzw. indeks kolmatacji SDI_{15}, który określa zdolność zanieczyszczeń typu zawiesiny, mikrozawiesiny, koloidy do blokowania przepływu przez membrany. Wskaźnik ten jest wartością względną i informuje o procentowym zakolmatowaniu membrany w funkcji czasu [4]. W cyklu badawczym indeks kolmatacji SDI_{15} określano trzykrotnie i wynosił od 3,0 do 1,6.

Membranę osmotyczną przed przystąpieniem do badań poddano kondycjonowaniu, filtrując przez około 45 minut wodę dejonizowaną pod ciśnieniem maksymalnie 1,2 MPa. Następnie wyznaczono zależność objętościowego strumienia permeatu od czasu na podstawie pomiarów objętości wody wypływającej w jednostce czasu w przeliczeniu na powierzchnię membrany, w temperaturze 278 K.

Do procesu badawczego użyto wody po infiltracji, pobranej ze studni zlokalizowanej przy basenie infiltracyjnym i kierowanej do stacji uzdatniania Wasilków. Jest to jedno z trzech ujęć wody pitnej dla aglomeracji białostockiej. Pozostałe to: ujęcie wody powierzchniowej zlokalizowane także w Wasilkowie oraz ujęcie wody podziemnej w Jurowcach. Proces uzdatniania wody w tych ujęciach oparty jest na technologii klasycznej, czyli na procesie koagulacji i filtracji.

Badania prowadzono przy stałych parametrach intensywności mieszania wody nad powierzchnią membrany, temperaturze 286-300 K i ciśnieniu około 1,2 MPa, po każdej kolejnej próbie wody infiltracyjnej układ płukano 2% kwasem cytrynowym. Oznaczono zawartość żelaza, manganu, magnezu, wapnia, chlorków, amoniaku, azotanów(III) i azotanów(V), fosforu ogólnego, chemicznego zapotrzebowania na tlen metodą nadmanganianową ($ChZT_{Mn}$) oraz określono mętność, odczyn i przewodność.

3. Wyniki badań i ich omówienie

Na podstawie przeprowadzonych badań dokonano oceny efektywności procesu odwróconej osmozy w usuwaniu poszczególnych wskaźników przez analizę składu wody surowej i oczyszczonej pod względem fizycznym i chemicznym, (wyniki przedstawiono w tabeli 1).

Tabela 1

Efektywność oczyszczania wody infiltracyjnej metodą odwróconej osmozy

Parametry	Jednostka	Woda surowa	Permeat	Współczynnik retencji [%]
Mętność	$mgSiO_2/l$	2-5	0,0	100
Przewodność	µS/cm	398-418	9,0	98
Odczyn	pH	6,5-7,2	6,5	
Wapń	mg Ca^{2+}/l	77,4-84,1	0,0-0,05	79-100
Magnez	mg Mg^{2+}/l	46,3-82,7	0,0	100
Mangan	mg Mn/l	0,20-0,24	0,0	100
Żelazo ogólne	mg Fe/l	0,71-0,9	0,0-0,2	98-100
Chlorki	mg Cl^-/l	11-13	3-4	70-73
Amoniak	mg NH_4^+/l	0,4-0,5	0,09	77,5-82
Azotany(III)	mg NO_2^-/l	3,6-4,72	0,0	100
Azotany(V)	mg NO_3^-/l	4,4-4,80	0,06	91-95
Fosfor ogólny	mg P/l	0,12-0,17	0,06-0,09	100
$ChZT_{Mn}$	mg O_2/l	5,4-10,3	0,3-1,7	94,5

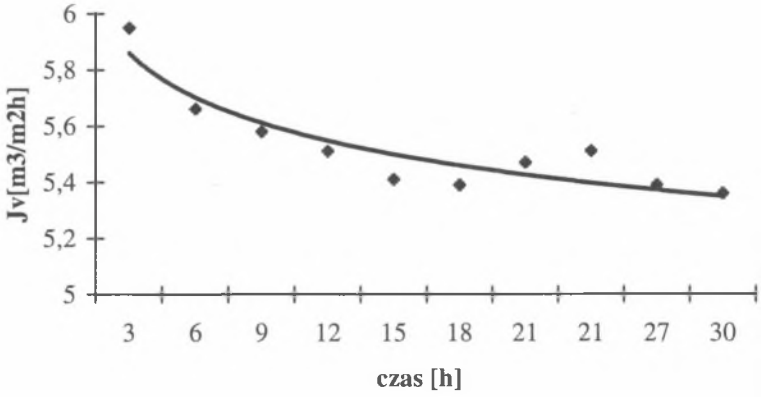
Zakresy stężeń poszczególnych wskaźników w wodzie surowej i premeacie wynikają z cyklu badań prowadzonych w różnych sezonach roku. Bez względu na porę roku wahania parametrów były nieznaczne, co świadczy o prawidłowej infiltracji. Analizując wartości współczynników retencji badanych parametrów stwierdzono usunięcie:

- azotanów(III), azotanów(V), fosforu ogólnego, żelaza, manganu, wapnia, magnezu, przewodności i mętności w 95-100%,
- amoniaku i chlorków w 70-82%,
- związków organicznych w 94,5% oznaczone za pomocą $ChZT_{Mn}$.

Woda po procesie RO uzyskała pod względem badanych wskaźników parametry wody do picia.

3.1. Wydajność procesu filtracji membranowej

Wydajność procesu odwróconej osmozy określono przez oznaczenie zależności objętościowego strumienia permeatu od czasu. Uzyskane wyniki przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Zależność objętościowego strumienia permeatu od czasu
Fig. 2. Dependence of volumetric permeate flux on time

Wartość J_v dla wody badanej z upływem czasu eksploatacji membrany nieznacznie się zmniejsza od 5,98 do 5,36 [$l/m^2 \cdot h$]. Wynika to z ciśnieniowej kompresji porów membrany oraz obecności substancji koloidalnie rozpuszczonych, zawieszonych i bakterii w wodzie infiltracyjnej, powodujących zatykanie się porów membrany (fouling). Zaobserwowano, że w końcowym etapie badań po płukaniu wydajność procesu wzrastała, co przedstawiono na wykresie, a następnie wracała do poprzedniego poziomu.

3.2. Badania bakteriologiczne

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań bakteriologicznych wody surowej i permeatu otrzymanego podczas procesu odwróconej osmozy wody infiltracyjnej. Badania zostały wykonane w Katedrze Biologii Politechniki Białostockiej.

Badana woda była zanieczyszczona, natomiast otrzymany premeat nie zawierał bakterii grupy coli ani bakterii mezofilnych czy też psychrofilnych. Uzyskany permeat spełniał warunki sanitarne dla wód pitnych podane w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia [6], nie zawierał żadnych bakteriii, współczynnik retencji wynosił w każdym przypadku 100%.

Tabela 2

Wyniki badań mikrobiologicznych wody infiltracyjnej i uzdatnionej

Strumień	Liczba bakterii mezofilnych w $1cm^3$	Liczba bakterii psychrofilnych w $1cm^3$	Mino Coli	NPL w $1cm^3$
Woda surowa	1860	510	4	23
Permeat	0	0	>20	<5

Uzyskane wyniki potwierdzają tezę, że odwrócona osmoza jest skuteczną barierą dla bakterii i może być stosowana w miejsce chemicznych metod dezynfekcji, które wprowadzają do wody dodatkowe substancje, a te mogą reagować z zanieczyszczeniami wody tworząc niebezpieczne związki dla zdrowia człowieka [7, 8].

4. Wnioski

1. Stwierdzono, że koncentracja wybranych wskaźników w wodzie infiltracyjnej w badanych okresach roku wahała się nieznacznie, co pozwala na jej uzdatnianie w procesie odwróconej osmozy, bez względu na sezon.
2. Objętościowy strumień permeatu zmniejszył się, co świadczy o występowaniu substancji zatrzymywanych przez membranę i możliwości foulingu.
3. Badania wykazały, że membrany są skuteczną barierą dla bakterii typu psychrofilnych, mezofilnych i coli.

Literatura

1. Wiąckowski S. K.: Przyrodnicze podstawy inżynierii środowiska, Kielce (2000), s. 211-214.
2. Kowal A. L., Świderska-Bróż M.: Efficiency of artificial recharge as applited to the treatment of surface water, Implementing water reuse. Proceedings of water reuse. Symposium IV, AWWA, Denver, Colorado 1987.
3. Kowal A. L., Świderska-Bróż M.: Oczyszczanie wody, PWN, Warszawa-Wrocław (1997), s. 86, 385-393.
4. Litwinowicz A.: Przydatność wskaźnika SDI do kontroli procesów zatrzymywania mikrozanieczyszczeń w różnych stopniach uzdatniania wody, V Konferencja Naukowo-Techniczna „Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń", Bielsko- Biała 1994.
5. Instrukcja obsługi instalacji badawczej z modułem zwojowym firmy EURO-SEP - materiały firmowe EURO-SEP 2000.
6. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 4.09.2000, Dz.U. nr 82, poz. 937, w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach, oraz zasada sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej. Dz. U. 4.09.2000r Nr 82 ,poz. 937. Zał. 2. Wymagania bakteriologiczne.
7. Wilf M., Klinko K.: Improved performance and cost reduction of RO seawater systems using pretreatment, Membrane Technology, 113, (2000), s. 5-8.
8. Bodzek M., Bohdziewicz J., Konieczny K.: Techniki membranowe w ochronie środowiska, wyd. Politechnika Śląska, Gliwice, (1997), s. 85.

Abstract

The treatment of infiltration water in the classic technology proceeds through a number of combined unit processes: aeration, coagulation, filtration and disinfecting. In reality, it is necessary to establish the manner of water treatment for each water intake by means of the experiment, because in the formally similar composition of water its susceptibility to removing micro pollutions can be different.

All inconveniences that are connected with traditional methods of the water treatment (correctly proportioning coagulants or by-products of chlorination) open up the area for using new techniques of the separation; among them membrane methods have the most advantages and possibilities.

Conventional methods of the water purification can be replaced with high-effectiveness membrane methods. Furthermore, the membrane methods can be linked with complement

methods applied in the water treatment and in this way to create the technological sequence of the water treatment.

The research purpose is to determine possibilities of using membrane methods, namely reverse osmosis, in the water treatment after infiltration. The process' effectiveness has been estimated on the basis of retention coefficients of individual ions in treating water and the size of the volumetric flux of permeate.

There has been determined so-called the silt density index of SDI_{15}. It defines the possibility of pollutions, such as suspensions, micro-suspensions and colloids, to block the flow through membranes. It has been also made of necessity to ensure the optimal level of work of the reverse osmosis module as. The SDI_{15} is the relative value and informs us about the rate of fouling of the membrane at time function.

The research cycle lasts 30 hours. The SDI_{15} had been determining three times during the cycle and amounted from 1.6 to 3.0.

These factors as existence of some dissolved colloidal substances, some colloidal suspensions and bacteria in infiltration water and low temperature of testing water cause fouling of membranes pores. The changes of efficiency in the middle of researching are the result of rinsing.

An estimation of the efficiency of reverse osmosis in removing each index was made on the basis of the research that had been done. It had been done by the analysis as regards both physical and chemical of composition of raw water and water that is physical and chemical purified (Table 1).

The efficiency values of reverse osmosis J_v (Fig. 2) for researching water decrease insignificantly from 5.75 to 5.36 [$dm^3/m^2 \cdot h$] as time goes. It is the result of the pressure compression of membranes pores and fouling phenomenon.

The conclusion that reverse osmosis is the effective barrier for bacteria is confirmed by the gained results of microbiological researching (Table 2).