INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND EKOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 5/2008, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 109–115
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Janina Piekutin

UZDATNIANIE WÓD INFILTRACYJNYCH

TREATMENT OF INFILTRATION WATER

Streszczenie

W zdecydowanej większości wypadków wody infiltracyjne są uzdatniane w układzie technologicznym obejmującym procesy napowietrzania, filtracji pospiesznej i dezynfekcji. Znaczny poziom zanieczyszczenia ujmowanych wód powoduje problemy podczas uzdatniana metodami klasycznymi wobec powyższego wysunięto tezę o możliwym zastosowaniu układu hybrydowego do jej oczyszczania. Jednym z proponowanych rozwiązań jest połączenie procesów: ozonowania wstępnego i odwróconej osmozy (RO) do uzdatniania wody infiltracyjnej. Ideą zastosowanego połączenia było osiągnięcie większej efektywności w porównaniu z procesami składowymi. Wodę infiltracyjną po ozonowaniu pobierano ze stacji uzdatniania, a następnie poddawano procesowi odwróconej osmozy. Ochrona systemu membranowego przed foulingiem została dokonana przez ozonowanie wstępne. Układ do odwróconej osmozy pracował w układzie ciągłym z częściową recyrkulacją koncentratu. Prowadzone badania pozwoliły stwierdzić, iż połączenie filtracji w gruncie, wstępnego ozonowania i odwróconej osmozy daje możliwość uzyskania wody o stałej jakości bez względu na poziom zanieczyszczeń. Pozwala uniknąć produktów rozpadu substancji humusowych i ochrony membrany przed foulingiem.

Zasadniczym celem prezentowanej pracy było wykazanie skuteczności oczyszczania wody infiltracyjnej do celów komunalnych przy zastosowaniu układu hybrydowego, określenie wpływu ozonowania wstępnego na pracę membrany, wielkość objętościowego strumienia permeatu i skuteczność usuwania zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: woda infiltracyjna, azotany, azotyny, ozonowanie

Summary

Due to various problems that occur during treatment the water containing significant amounts of humus substances, using classical methods, the thesis on possibility to apply the hybrid system to its purification has been proposed. The

purpose of the combination was to achieve higher efficiency as compared to component processes. Studies allowed for finding that combining filtration in a ground, preliminary ozonization and reverse osmosis gives a possibility to get water of a constant quality, regardless the indices oscillations, to avoid products of humus substances degradation and to protect membranes against fouling.

During initial stages of RO process, strong weakening of filtrate stream is observed, and then it is stabilized at constant level with subsequent decreasing after some time. Achieving a maximum efficiency is associated with finding the reason of permeate stream weakening during water treatment.

Key words: *infiltration water, nitrate, nitrite, ozonization*

WSTĘP

Wysokie koszty uzdatniania wody do spożycia pitnych skłaniają, nawet bogate kraje Europy zachodniej, do poszukiwania rozwiązań niekonwencjonalnych. Uzdatnianie wody w obecnych warunkach ekonomicznych sprowadza się tylko do usuwania nadwyżek żelaza i manganu oraz chlorowania wody. Usunięcie chemicznych mikrozanieczyszczeń organicznych (WWA) wymaga bardziej złożonego i kosztownego procesu, na przykład podwójnej filtracji na złożu piaskowym i węglu aktywnym oraz podwójnego ozonowania. Stosowanie takiej technologii dla całości produkowanej wody, niezależnie od jej przeznaczenia, jest ekonomicznie nieuzasadnione. Problem zaopatrzenia w wodę skomplikował się również z chwilą stwierdzenia zanieczyszczenia wód gruntowych na terenach wiejskich – azotanami.

Stopień zanieczyszczenia wody rzecznej wzrasta, a ponadto mogą pojawiać się groźne dla zdrowia zanieczyszczenia incydentalne. Otrzymanie wody uzdatnionej o dopuszczalnych obecnie stężeniach związków [Coulson, Richardson 1996; Maćkiewicz, Dziubek 2003] bardzo często wymaga zweryfikowania technologii uzdatniania wody. Procesy zintegrowane w uzdatnianiu wody do picia stosuje się głównie do uzyskania wysokiej wydajności i zadowalającego stopnia usuwania zanieczyszczeń z wody [Dudziak i in. 2003; Wiąckowski 2000]. Do zalet tego typu układu należą: wysoka niezawodność procesu gwarantująca uzyskanie wody o założonej jakości, niezależnie od składu wody; ograniczenie blokowania membrany – cząstki powodujące fouling (np.: koloidy, organiczne związki żelaza i manganu) są rozbijane pod wpływem ozonu, ograniczenie zużycia różnego rodzaju odczynników (koagulantów, substancji korygujących odczyn) [Kabsch-Korbutowicz i in. 1999; Kowal 1999; Maćkiewicz, Dziubek 2003]. Jednym z proponowanych rozwiązań jest połączenie procesu infiltracji, ozonowania wstępnego i odwróconej osmozy (RO).

Zasadniczym celem prezentowanej pracy było wykazanie skuteczności oczyszczania wody infiltracyjnej do celów komunalnych przy zastosowaniu układu hybrydowego, określenie wpływu ozonowania wstępnego na pracę

membrany, wielkość objętościowego strumienia permeatu i skuteczność usuwania zanieczyszczeń. Do przeprowadzenia tego rodzaju badań skłoniły sezonowe zmiany jakości wody w źródle rzeki Supraśl trudne do opanowania przez infiltrację i konwencjonalny układ uzdatnia wody. Woda z rzeki Supraśl przy pomocy ujęcia brzegowego i rowu otwartego o szerokości 1,5 m w koronie i 0,85 m w dnie doprowadzana jest do stawów retencyjno-infiltracyjnych skąd infiltracją brzegową filtruje się do 18 studni o głębokości od 18–45 m zlokalizowanych wokół stawów. Układ technologiczny oczyszczania wody infiltracyjnej (na terenie Wydziału Produkcji Wody „Wasilków") oparty jest na procesach: utleniania wstępnego polegającego na:

– ozonowaniu wody (stosowanym od kilku lat w miejsce chlorowania). Powoduje utlenienie zawartych w wodzie związków żelaza i manganu oraz zmniejszenie ilości związków organicznych i obniżenie barwy,

– filtracji – na ośmiu filtrach kontaktowych z przepływem wody od dołu do góry. Na żwirowym złożu filtracyjnym zatrzymywane są zanieczyszczenia organiczne i mineralne,

– dezynfekcji – dwutlenkiem chloru stosowanym w celu zabezpieczenia wody uzdatnionej przed rozwojem bakterii i mikroorganizmów.

METODYKA I MATERIAŁY BADAWCZE

Uzdatnianie wody powierzchniowej przebiegało w następującym układzie: filtracja w gruncie – ozonowanie – odwrócona osmoza. Proces infiltracji i ozonowania prowadzono na Stacji Uzdatniania Wody (SUW) w rzeczywistych warunkach, proces RO w Katedrze Technologii Wody, Ścieków i Osadów. Układ RO pracował na membranie z poliamidu aromatycznego w układzie ciągłym, z częściową recyrkulacją koncentratu.

Woda po ozonowaniu pobierana do RO zawierała znaczną ilość „skłaczkowanego" żelaza. W celu ochrony systemu membranowego wodę przed RO poddano filtracji na filtrze próżniowym o średnicy porów Ø 0,45 μm i badano stężenie ozonu ze względu na brak odporności membrany na silne utleniacze. Koncentracja ozonu przed RO nie przekraczała 0,0 mg/l. Ozon jest silnym ale nietrwałym utleniaczem, czas transportu wody po ozonowaniu do układu odwróconej osmozy nie dawał możliwości utrzymania się go jeszcze wodzie.

Badania filtracji membranowej prowadzono w temperaturze 17^0C, stosując ciśnienie 1,1 MPa oraz prędkość liniową nad membraną 1,2 m/s. Przed właściwymi pomiarami przez membranę przepuszczono wodę dejonizowaną w celu określenia maksymalnego strumienia permeatu, następnie prowadzono badania właściwe. Po badaniach właściwych membranę płukano ponownie wodą destylowaną. Określono w ten sposób zmianę własności transportowych membrany po pracy na wodzie po ozonowaniu.

Efektywność procesu uzdatniania wody oceniono na podstawie analizy chemicznej, umożliwiającą wyznaczenie współczynnika retencji poszczególnych jonów i pomiar objętościowego strumienia permeatu (J_v). Oznaczenia wykonywano wg obowiązujących norm lub na podstawie powszechnie uznawanych i zalecanych przez literaturę naukową metodyk analitycznych.

WYNIKI BADAŃ

Wodę po każdym etapie uzdatniania poddawano analizie chemicznej co przedstawiono w tabeli nr1.

Wzrost zawartości żelaza ogólnego do 0,760 mg/dm^3 w wodzie po infiltracji wynika prawdopodobnie z zakolmatowania studni i wymywania go z warstwy wodonośnej [Mozia, Tomaszewska 2002].

Tabela 1. Proces usunięcia zanieczyszczeń z wody powierzchniowej w układzie infiltracja – ozonowanie – odwrócona osmoza (n = 7).
Table 1. Process of pollution removal from surface water in a system infiltration – ozonization – reverse osmosis (n = 7)

Oznaczenia Examinated parametr	Jednostka Unit	Woda infiltracyjna Infiltration water	R [%]	Woda po ozonowaniu Ozonization water	R [%]	Filtrat Filtrate	R [%]
barwa color	mg Pt·dm^{-3}	35,0	18,4	24	40	1,3	955
mętność turbity	mg SiO_2·dm^{-3}	5,0	68,4	3,0	40	0,0	100
przewodność reaction	µS/cm	447	–	446	0,1	8,0	98
żelazo og. iron	mg·dm^{-3}	0,76	–	0,60	21	0,175	75
mangan manganese	mg·dm^{-3}	0,16	0,06	0,155	0,03	0,030	83,8
chlorki chlorides	mg·dm^{-3}	14,6	91,9	14,6	–	0,71	95,1
jon amonowy amonia ion	mg·dm^{-3}	0,67	88,2	0,46	1,5	0,05	92
azotany (V) nitrates (V)	mg·dm^{-3}	4,71	68,7	5,3	–	1,20	84
azotany (III) nitrites (II)	mg·dm^{-3}	0,03	88,4	0,0	100	0,0	–
siarczany sulphur	mg·dm^{-3}	104	13,13	100	–	2,5	97,7
$ChZT_{Mn}$ COD_{Mn}	mgO_2·dm	11	41,9	8,7	21	1,6	81,6

R – współczynnik retencji
Źródło: badania własne

Warstwa gleby i środowiska gruntowo-skalnego oddzielająca studnie od stawów nie spełnia swojej funkcji ponieważ, część zanieczyszczeń migruje do wody po infiltracji [Mozia, Tomaszewska 2002; Reckhow, Singer 1991]. Tezę tę potwierdzają wahania ilości badanych substancji [Piekutin, Magrel 2002] głównie w okresach wzmożonych spływów powierzchniowych wywołanych topnieniem pokrywy śnieżnej, jak również intensywnymi opadami deszczu. Brak stabilności zanieczyszczeń w wodzie infiltracyjnej wpływało na jakość uzdatnianej wody, a to spowodowało, że na SUW wyłączono części studni i zastąpiono je nowymi.

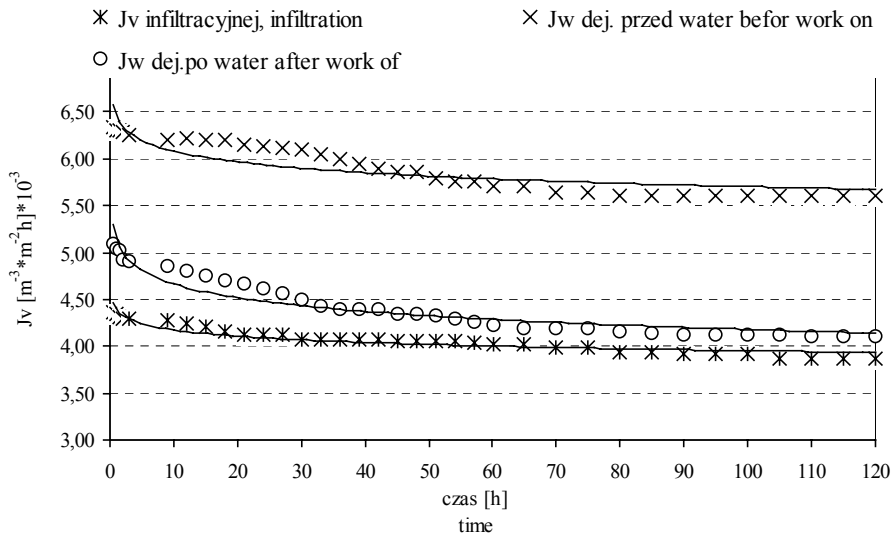
Po procesie ozonowania zaobserwowane w wodzie aglomeraty żelaza są prawdopodobnie wynikiem wypłukania z dna komór kontaktowych podczas pobierania wody. Zwiększona zaś koncentracja azotanów (V) spowodowana jest utlenieniem azotanów (III) i częściowo jonu amonowego. Pod wpływem ozonu rozpadowi ulęgają również wiązania hromoforowe odpowiedzialne za barwę. Zmniejszenie barwy i $ChZT_{Mn}$ nie świadczy o całkowitej eliminacji substancji organicznych, a jedynie o ich rozpadzie na związki prostsze, z których część prawdopodobnie utlenia się do CO_2 i H_2O [Piekutin J., Magrel 2002; Wiąckowski 2000].

W wodzie po odwróconej osmozie stwierdzono znaczny wzrost współczynników retencji badanych parametrów w stosunku do ozonowania. Obniżenie barwy i $ChZT_{Mn}$ po ozonowaniu zmniejsza możliwość wystąpienia foulingu w RO, a tym samym powoduje stabilną pracę układu oczyszczania wody.

Zaobserwowano, że efektywność usuwania występujących w wodzie związków azotu zmniejsza się w czasie od 100–30% dla azotanów (III) i od 100–50%. Odwrotny efekt zauważono przy jonie amonowym gdzie współczynnik retencji wzrastał w czasie od 73 do 100%. Woda po procesie pod względem parametrów fizykochemicznych spełnia kryteria wody do picia [Coulson, Richardson 1996].

Objętościowy strumień permeatu wody infiltracyjnej (rys. 1) kształtował się na poziomie $4{,}2 \cdot 10^{-3}$ $m^3/m^2 \cdot h$. W trakcie odwróconej osmozy wody infiltracyjnej po ozonowaniu następował spadek strumienia permeatu J_V, przy czym uzyskane wartości były mniejsze niż w przypadku strumienia wody dejonizowanej J_W przed i po badaniach właściwych. Po 120 godzinach eksploatacji strumień wody dejonizowanej wzrósł w stosunku do wartości strumienia wody badanej, nastąpiła więc częściowa regeneracja membrany spowodowana wypłukaniem zanieczyszczeń przez burzliwy przepływ wody dejonizowanej nad powierzchnią membrany.

Stosunek $J_V/J_W<1$ świadczy o adsorpcji pozostałych w wodzie po ozonowaniu na powierzchni membrany związków organicznych lub wpływie powstałego foulingu na przebieg procesu [Kabsch-Korbutowicz i in. 1999].



Rysunek 1. Zależność objętościowego strumienia permeatu w czasie
Figure 1. Changes of permeate volume stream

Uzyskany odzysk wody w 86% przy jednostopniowym układzie filtracji membranowej jest możliwy jedynie przy stworzeniu wymaganych warunków pracy dla układu membranowego w tym przypadku jest to wstępne ozonowanie.

WNIOSKI

1. Produkty rozpadu w wyniku działania ozonu mogą tworzyć podczas dezynfekcji związkami chloru szkodliwe dla zdrowia połączenia chloro-organiczne wobec powyższego należy mieć świadomość ograniczonej skuteczności ozonowania wody w klasycznych układach w przypadku okresowych spływów powierzchniowych niosących znaczne ilości substancji humusowych.
2. Połączenie metod konwencjonalnych z nowoczesnymi pozwoliło zminimalizować zjawisko foulingu, uzyskać stabilną pracę membrany, wysoki objętościowy strumień permeatu i wpłynąć znacząco na współczynniki retencji usuwanych związków
3. Połączenie procesu konwencjonalnego z układem membranowym pozwoliło osiągnąć 86% odzysk wody po odwróconej osmozie.
4. Przeprowadzone ozonowanie wody po infiltracji i zastosowanie membrany hydrofilowej nie wyeliminowało powstania foulingu o czym świadczy stosunek $J_V / J_W < 1$, a jedynie go ograniczyło.

Badania wykonano w Katedrze Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska Politechniki Białostockiej ze środków przeznaczonych na działalność pracy własnej.

BIBLIOGRAFIA

Coulson J. M., Richardson J.F. *Chemical Engineering.* Pergamon, NY 1996.

Dudziak M., Luks-Betej K., Waniek A., Bodzek M. *Ultrafiltracja w usuwaniu toksycznych mikrozanieczyszczeń organicznych z wód naturalnych, Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 10(S1), s. 61–71, 2003.

Kabsch-Korbutowicz M., Majewska-Nowak K., Winnicki T. *Analysis of membrane fouling in the treatment of water solutions containing humanic acids and mineral salts*, Desalination, 126, s. 179–185, 1999.

Kowal A. L. *Wykorzystanie infiltracji w oczyszczaniu wody*. Ochrona Środowiska 3(74), s. 3–7, 1999.

Maćkiewicz J., Dziubek A. M. *Kierunki rozwoju technologii oczyszczania wód infiltracyjnych*, Ochrona Środowiska, 2003, 4, s. 19–22.

Materiały eksploatora Wodociągi Białostockie.

Mozia S., Tomaszewska M. *Badanie foulingu w układzie hybrydowym PWA/UF* ZN 46 Pol. Śl., s Inżynieria Środowiska, (z.46), Gliwice 2002, s.184–187.

Reckhow D.A., Singer P.C. *Chlorinatio*n *by product in drinking water: form formation potentials to finished water concentrations.* Jour. AWWA, 5 s.67, 1991.

Piekutin J., Magrel L. *Próba wykorzystania odwróconej osmozy do oczyszczania wody infiltracyjnej*. Zeszyt Naukowy Inżynieria Środowiska nr 47, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002, s. 161–169.

Wiąckowski S. K. *Przyrodnicze podstawy inżynierii środowiska*. Kielce 2000.

Dr Janina Piekutin
Politechnika Białostocka
Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45A
jpieku @wp.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Jan Pawełek*