

**Wojciech Balcerzak**  
**Wiesław Zymon**  
**Mariusz Olko**

## OCENA EFEKTYWNOŚCI UZDATNIANIA WODY POWIERZCHNIOWEJ W Z.U.W. RUDAWA

W technologii uzdatniania wody, zgodnie z trendami światowymi, dąży się do uzyskania wody o wysokiej jakości. W tym celu wprowadza się do układów oczyszczania wód powierzchniowych m.in. sorpcję na węglu aktywnym oraz utlenianie, co związane jest ze znacznymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi. Skuteczność wprowadzanych metod wymaga jednak wysoko efektywnego usunięcia zanieczyszczeń oraz niektórych domieszek zawartych w wodzie, przy użyciu istniejących urządzeń.

Pierwszym etapem prowadzącym do poprawy jakości wody powinna być optymalizacja procesu koagulacji dla wód o niskiej mętności i barwie. Mętność i barwę wody uznaje się za istotny wskaźnik jej sanitarnej pewności [1]. Bakterie i wirusy znajdujące się w wodzie stanowią cząstki o wielkościach koloidalnych, mogą więc sorbować się na zawieszinach i koloidach zawartych w wodzie. Usunięcie mętności i barwy wpływa zatem na zmniejszenie ilości bakterii i wirusów w wodzie. Stąd też obniżenie mętności i barwy wody rzutuje bezpośrednio na jej jakość. Należy więc dążyć do obniżenia dopuszczalnej wartości mętności w wodzie do picia. Barwa wody powinna być określana przed procesem dezynfekcji, w którym utleniacze powodują odbarwienie wody z jednoczesnym powstawaniem związków niebarwnych, a jednocześnie szkodliwych dla zdrowia.

Rudawa stanowi jedno ze źródeł zaopatrzenia Krakowa w wodę pitną. Woda z ujęcia dopływa grawitacyjnie do stacji uzdatniania, następnie jest pompowana do mieszaczy szybkich, skąd płynie do komór flokulacji, poziomych osadników pokoagulacyjnych i filtrów pospiesznych. Po dezynfekcji chlorem woda magazynowana jest w zbiorniku wody czystej, skąd tłoczona jest do sieci [2].

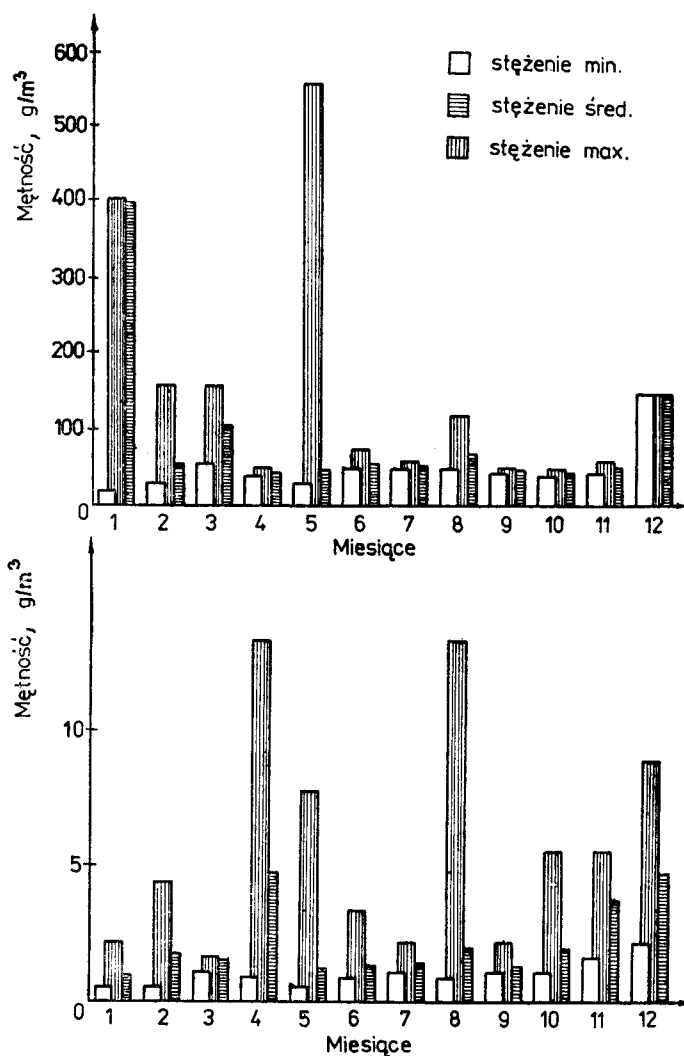
W ciągu ostatnich lat, w związku z intensyfikacją rozwoju przemysłu i rolnictwa, w obrębie zlewni nastąpił wzrost wskaźników zanieczyszczenia wody.

### Jakość wody surowej i uzdatnionej

Ocenę jakościową wody surowej i uzdatnionej opracowano na podstawie analiz składu fizyczno-chemicznego wody, wykonywanych w 1988 r. w eksploatowanym zakładzie uzdatniania wody. Na pod-

stawie uzyskanych wyników stwierdzono, że mętność wody surowej (rys. 1) wykazuje duże zróżnicowanie w styczniu, lutym i maju, natomiast w pozostałym okresie nie ma widocznych różnic pomiędzy wartością minimalną i maksymalną tego wskaźnika.

Średnia roczna mętność wody surowej wynosiła ok. 100 g/m<sup>3</sup>, natomiast mętność wody uzdatnionej (rys. 1) wahała się od 0,5 do 12 g/m<sup>3</sup>. Podwyższoną mętność notowano w kwietniu, maju, sierpniu i grudniu. Średnia roczna mętność wody uzdatnionej wynosiła 2 g/m<sup>3</sup>. Pozostałe wskaźniki jakości wody (tab. 1) nie wykazywały zasadniczych różnic pomiędzy wodą surową a uzdatnioną.



Rys. 1. Mętność wody surowej i uzdatnionej (1988 r.)

Dr W. Balcerzak, dr inż. W. Zymon: Instytut Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków.  
 Mgr M. Olko: Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, ul. Senatorska 1, 30-106 Kraków.

Tabela 1

Analizy składu fizyczno-chemicznego wody surowej i uzdatnionej w ZUW — Rudawa w 1988 r.

Wskaźnik	Jednostka	Woda surowa			Woda uzdatniona		
		min.	max.	śr.	min.	max.	śr.
Mętność	g/m <sup>3</sup>	22	560	100	0,5	12	2
Barwa	g Pt/m <sup>3</sup>	10	25	19	5	12	7
pH	—	7,8	8,5	8,1	7,2	8,5	7,8
Azot amonowy	g N/m <sup>3</sup>	0,01	0,60	0,20	n.w.	n.w.	n.w.
Azot azotanowy	g N/m <sup>3</sup>	2,1	13,1	5,6	0,9	13,6	4,5
Azot. organicz.	g N/m <sup>3</sup>	0,11	1,20	0,49	0,3	1,4	0,55
Fosforany	g PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /m <sup>3</sup>	0,12	0,96	0,52	0,06	0,87	0,44
Utlenialność	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	2,1	12,1	4,5	1,0	6,3	2,7
Żelazo	g Fe/m <sup>3</sup>	0,18	1,80	0,54	0	0,69	0,12

## Efektywność uzdatniania wody

Ocenę efektywności technologii uzdatniania wody przeprowadzono na podstawie codziennych analiz wody surowej i uzdatnionej z jednego miesiąca, charakteryzującego się występowaniem w wodzie podwyższonej mętności oraz stosowaniem okresowo procesu koagulacji (tab. 2). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że:

- mętność wody surowej wahała się od 35 do 560 g/m<sup>3</sup>, a wody uzdatnionej od 0,5 do 7 g/m<sup>3</sup>; średni stopień usuwania mętności wynosił 97,6%,
- barwa wody surowej wahała się od 15 do 25 g Pt/m<sup>3</sup>; średni stopień usuwania barwy wynosił 67%,
- utlenialność wody surowej wynosiła od 2,0 do 9,3 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, a wody uzdatnionej od 1,0 do 3,6 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>; średni stopień usuwania utlenialności wynosił 36,4%.

Oceniając efektywność działania układu uzdatniania należy zwrócić uwagę na bardzo wysoki stopień usuwania mętności, mniejszy barwy i utlenialności. Zwraca uwagę również fakt, że okresowo mętność wody uzdatnionej przekraczała dopuszczalne normy, pomimo stosowania procesu koagulacji. Wody o niskiej mętności początkowej w wielu przypadkach następczo trudności w ich koagulowaniu, a stosowane niezbędne dawki koagulantu były stosunkowo wysokie.

## Metodyka badań technologicznych

W celu określenia dawki siarczanu glinowego, przy której następuje spadek mętności po koagulacji i filtracji poniżej 1 g/m<sup>3</sup>, przeprowadzono badania technologiczne w skali laboratoryjnej. W badaniach tych zwrócono uwagę na takie modelowanie procesu filtracji, aby uzyskane wyniki były zbliżone do warunków rzeczywistych. Wykorzystano również wyniki uzyskane we wcześniejszych badaniach [4].

Mętność wody surowej z Rudawy oznaczano przed i po sączeniu przez sączonek bibułowy Filtrak 389. Ponadto oznaczano mętność wody pobranej kilka godzin później z sieci zasilanej wodą z badanego ujęcia. Badania przeprowadzono przy stabilnych warunkach pogodowych. Mętność wody oznaczano nefelometrycznie (Specol Carl-Zeiss-Jena). Wyniki badań przedstawiono na rysunku 2.

Proces koagulacji badano w warunkach statycznych metodą testu naczyniowego. Stosowano dawki koagulantu równe: 2, 5, 10 i 15 g Al(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18 H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>. Po koagulacji i 15-minutowej sedymentacji zdekantowany roztwór filtrowano wg urzędniczo opisanej metodyki. Oznaczono mętność wody surowej i po sedymentacji, jak również po filtracji przez sączonek z bibuły. Określano również barwę oraz pH wody. Efekty usuwania mętności przedstawiono na rysunku 3, a barwy na rysunku 4.

## Omówienie wyników badań

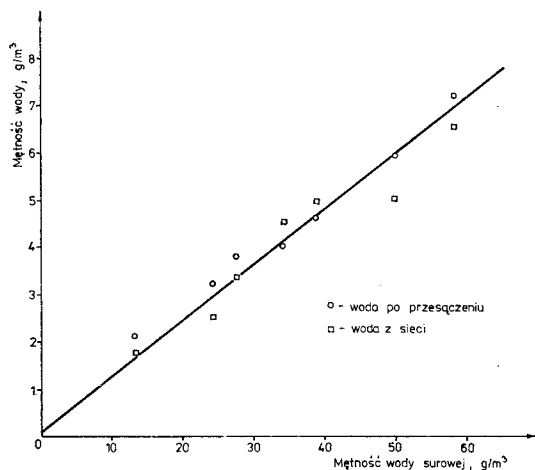
### Filtracja

Uzyskane wyniki wskazują, że przy występowaniu niewielkich wartości mętności wody surowej, istnieje zależność liniowa pomiędzy mętnością wody surowej a mętnością wody po filtracji modelowej. Na-

Tabela 2  
Barwa i mętność wody surowej i uzdatnionej oraz stopień usuwania zanieczyszczeń

Data maj 1988	Woda surowa			Woda uzdatniona		Stopień usuwania, %		
	barwa g Pt/m <sup>3</sup>	mętność, g/m <sup>3</sup>		barwa g Pt/m <sup>3</sup>	mętność g/m <sup>3</sup>	barwy	mętności	
		surowa	po osadniku				po osadniku	całkowity
1	16	45	40	5	1,0	69	11	98
2	15	40	40	5	0,5	67	0	99
3	15	30	30	5	0,5	67	0	98
4	15	40	40	5	1,0	67	0	97
5	16	40	35	5	1,0	64	12	97
6	15	40	35	5	0,5	67	12	99
7	15	35	35	6	1,0	60	0	97
8	15	40	40	5	1,0	67	0	97
9	20	50	45	6	2,0	70	10	96
10	18	40	40	6	1,0	67	0	97
11	18	40	40	6	1,0	67	0	98
12	18	50	35	6	1,0	67	30	98
13	17	40	40	5	1,0	71	0	97
14	18	45	40	6	1,0	67	11	98
15	18	40	40	6	1,0	67	0	97
16	18	40	35	6	1,0	67	12	97
17	18	40	30	5	1,0	72	25	98
18	18	40	40	5	1,0	72	0	98
19	19	45	45	6	1,0	68	0	98
20*	25	240	65	7	2,0	72	73	99
21*	19	120	60	7	1,5	63	50	99
22*	25	560	70	9	7,0	64	87	99
23*	20	90	45	7	1,5	70	50	98
24*	20	70	60	6	3,0	70	14	96
25	18	80	60	8	2,0	55	25	97
26	18	45	45	6	2,0	67	0	95
27	19	55	50	6	2,0	68	9	96
28	18	60	50	6	1,0	67	17	98
29*	29	110	60	6	2,0	70	45	98
30	19	70	65	6	1,0	68	7	98
31	20	65	60	6	1,0	70	8	98
Średnio	18,2	75,6	45,6	6,0	1,4	67,0	16,4	97,6

\* dni z koagulacją, dawki 5 ÷ 40 g/m<sup>3</sup>



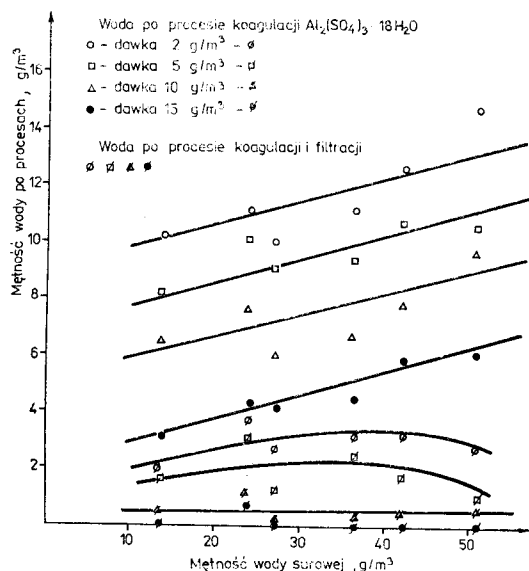
Rys. 2. Zależność pomiędzy mętnością wody surowej a mętnością wody po filtracji modelowej oraz mętnością wody z sieci wodociągowej

niesione na wykres wartości mętności wody pobranej z sieci wykazują dużą zgodność z wynikami uzyskanymi w trakcie filtracji modelowej (rys. 2).

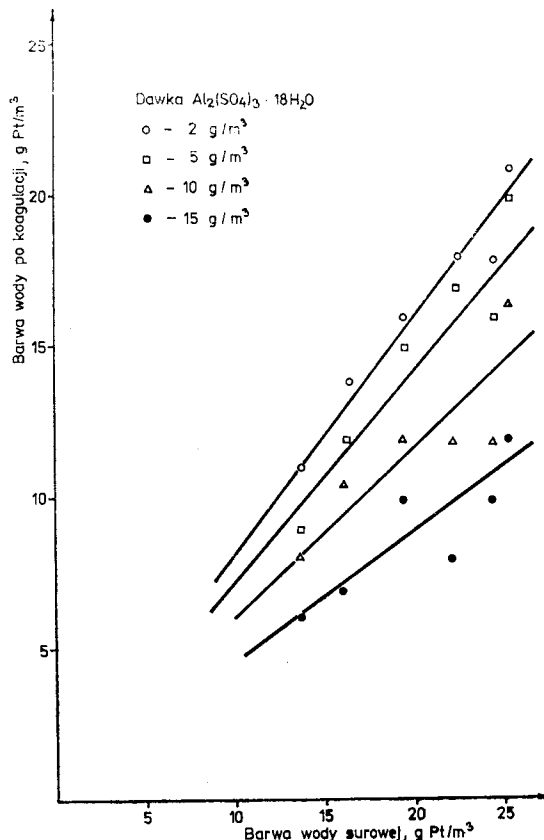
Wyniki powyższego testu pozwalają stwierdzić, że przez dobranie odpowiedniego materiału filtracyjnego można, na podstawie uprzednio sporządzonej krzywej wzorcowej, przewidywać efekty końcowe usuwania mętności zależnie od mętności wody surowej. Przebieg sporządzonej krzywej pozwala stwierdzić, że obniżenie mętności wody uzdatnionej do wartości  $1 \text{ g/m}^3$  (zalecanej w wielu krajach) możliwe jest dopiero poprzez stosowanie procesu ciągłej koagulacji.

### Koagulacja i filtracja

Mętność początkowa wahała się od 13 do  $52 \text{ g/m}^3$ . Efekty koagulacji przy tej samej dawce koagulantu w niewielkim stopniu zależały od początkowej mętności wody (rys. 3). Zwiększenie dawek koagulantu powodowało przesunięcie równoległe zależności stę-



Rys. 3. Zależność pomiędzy mętnością wody surowej a mętnością wody po koagulacji, sedymentacji i filtracji



Rys. 4. Zależność pomiędzy barwą wody surowej a barwą wody po koagulacji

zenia początkowego od stężenia końcowego. Filtracja wody po sedymentacji dawała różne efekty w zależności od zastosowanej dawki koagulantu. Przy dawkach 2 i  $5 \text{ g/m}^3$  następował minimalny wzrost efektów przy wysokich i niskich wartościach mętności początkowej. Mętność końcowa wynosiła  $1,1 \div 3,2 \text{ g/m}^3$ . Przy dawkach koagulantu  $10 \text{ g/m}^3$  uzyskano mętność poniżej  $1 \text{ g/m}^3$ . Zwiększenie dawki do  $15 \text{ g/m}^3$  powodowało całkowite usunięcie mętności wody.

Przy stałej dawce koagulantu zależność pomiędzy barwą końcową a początkową była liniowa (rys. 4). Zwiększenie dawki powodowało zmniejszenie kąta nachylenia prostej, co było równoznaczne ze zwiększeniem stopnia usuwania barwy. Na podstawie uzyskanych wyników badań określono stopień usuwania barwy przy różnych dawkach koagulantu, który wynosił: dla  $2 \text{ g/m}^3$  —  $20\%$ , dla  $5 \text{ g/m}^3$  —  $27\%$ , dla  $10 \text{ g/m}^3$  —  $40\%$  oraz dla  $15 \text{ g/m}^3$  —  $55\%$ . W badaniach pH wody wynosiło  $7,8 \div 8,0$ . Ponieważ obecnie krajowe stacje uzdatniania wody nie stosują korekty pH w trakcie procesu koagulacji, badania przeprowadzono przy naturalnym odczynie wody.

### Wnioski

1. Układ uzdatniania wody stosowany obecnie w ZUW Rudawa działa stosunkowo sprawnie i pozwala na uzyskiwanie w wodzie uzdatnionej niskich wartości mętności i barwy, na ogół zgodnych z normami. Dalsza poprawa jakości wody

możliwa jest poprzez maksymalne obniżenie mętności i barwy w procesach ciągłej koagulacji i filtracji.

2. Badania technologiczne w skali laboratoryjnej wykazały, że przy niskich mętnościach ( $15 \div 52 \text{ g/m}^3$ ) zastosowanie tej samej dawki koagulantu pozwala na uzyskanie podobnych efektów końcowych usuwania mętności.
3. Niezależnie od wartości mętności wody surowej w badanym zakresie, przy zastosowaniu dawki koagulantu  $10 \text{ g/m}^3$ , uzyskano w procesie koagulacji i filtracji usunięcie mętności poniżej  $1 \text{ g/m}^3$  oraz obniżenie barwy poniżej  $15 \text{ g Pt/m}^3$ .
4. Wyniki badań wskazują na możliwość uzyskania głębokiego oczyszczania wody w istniejącej stacji uzdatniania poprzez prowadzenie procesu ciągłej koagulacji.

#### LITERATURA

1. A. L. KOWAL: Zanieczyszczenie wód a potencjalne możliwości ich oczyszczania. Mat. konf. POLWOD '83, PZITS, Łódź 1983.
2. S. A. RYBICKI: Efektywność oczyszczania wód o wysokiej mętności w urządzeniach do koagulacji konwencjonalnej. Ochrona Środowiska, nr 2—3 (24—25), 1985.
3. M. HOLCMAN: Wpływ dodatku pylistego węgla aktywnego na przebieg i efektywność procesu koagulacji siarczanem glinu zanieczyszczeń wody. Politechnika Krakowska, 1987 (maszynopis).
4. M. MUCHA: Analiza technologiczna efektywności uzdatniania wody w ZUW — Rudawa w Krakowie. Politechnika Krakowska, 1989 (maszynopis).

#### ON THE POTENTIALITY FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF SURFACE WATER TREATMENT

*Water quality analysis was carried out on raw and treated samples of the Rudawa River water, which is one of the municipal water supply sources for the city of Cra-*

*cow. On the basis of water quality variations the operating efficiency of the treatment plant was evaluated in terms of turbidity, colour and COD removal. Technological investigations showed that the treatment plant produced municipal water of appropriate quality. The quality of the effluent can be further improved by including continuous coagulation in the technological system involved.*