

Wojciech Balcerzak, Przemysław Kułakowski, Krzysztof Łuszczek

Wpływ procesu ozonowania na skuteczność działania filtrów węglowych

Stacje oczyszczania wody modernizują swoje technologie, m.in. poprzez wprowadzenie ozonowania, które może być stosowane w różnych miejscach układu. Ozonowanie na początku układu oczyszczania stosowane jest do wspomagania kolejnych procesów technologicznych, celem ozonowania przed procesem sorpcji jest zwiększenie skuteczności działania filtrów węglowych, natomiast ozonowanie na końcu układu oczyszczania ma na celu dezynfekcję wody [1].

Stacja wodociągowa „Rudawa” ujmuje wodę powierzchniową z Rudawy i oczyszcza ją w układzie złożonym z procesów koagulacji, sedimentacji, filtracji przez złoża piaskowe, filtracji przez złoża węglowe oraz dezynfekcji dwutlenkiem chloru. Jakość wody surowej charakteryzuje się dużą zmiennością (tab. 1), co wpływa niekorzystnie na jakość wody oczyszczonej. Niezbędna poprawa jakości wody łączy się z koniecznością wprowadzenia nowych procesów jednostkowych, np. ozonowania. Dotychczasowa praktyka wodociągowa wykazała, że połączenie procesu ozonowania z filtracją

przez złoża węglowe pozwala na uzyskanie wody o wysokiej jakości [2].

W niniejszej pracy omówiono wyniki badań, których celem było określenie optymalnego miejsca zastosowania procesu ozonowania w ciągu technologicznym zakładu wodociągowego „Rudawa”. Badania przeprowadzono na stacji pilotowej zlokalizowanej w tym zakładzie [3].

Charakterystyka pracy stacji pilotowej

Stacja pilotowa, której schemat przedstawiono na rysunku 1, pracowała w oparciu o dwa badawcze układy technologiczne (układ technologiczny stacji „Rudawa” traktowany był jako układ odniesienia):

- układ I: z ozonowaniem przed złożami piaskowymi,
- układ II: z ozonowaniem przed złożami węglowymi.

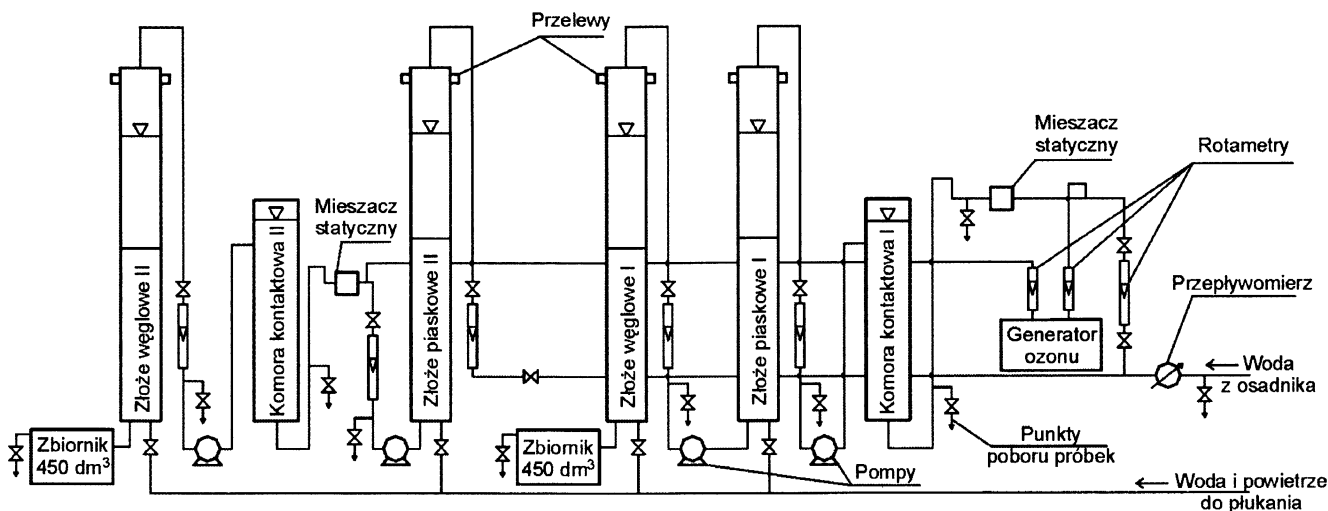
Układ badawczy I obejmował procesy ozonowania, filtracji

Tabela 1. Wartości wybranych wskaźników jakości wody surowej w stacji „Rudawa” w pierwszym półroczu 2004 r. (wartości średniomiesięczne)

Wskaźnik, jednostka		Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Średnia z I–VI
Temperatura, °C	minimum	2,9	2,6	3,6	6,7	11,8	14,4	8,9
	średnia	4,5	4,5	5,9	9,5	13,1	15,6	
	maksimum	6,4	7,5	9,2	11,6	14,4	16,8	
Barwa, gPt/m ³	minimum	8	10	8	12	8	6	13
	średnia	10	13	17	15	12	11	
	maksimum	13	18	32	18	18	15	
Mętność, NTU	minimum	2,1	2,8	2,6	5,6	3,2	2,0	21,2
	średnia	3,3	7,0	18,3	7,5	88,2	3,0	
	maksimum	9,3	28,5	94,8	13,6	942,0	4,8	
pH,–	minimum	7,98	7,82	7,93	7,95	7,85	7,89	–
	maksimum	8,15	8,11	8,10	8,25	8,25	8,22	
Utlenialność, gO ₂ /m ³	minimum	1,8	1,5	1,8	1,9	1,5	1,9	3,5
	średnia	2,3	2,9	3,8	3,2	6,3	2,2	
	maksimum	3,6	5,7	8,3	4,9	45,6	2,9	
OWO, gC/m ³	średnia	2,3	3,3	2,7	3,3	2,0	2,0	2,6
Absorbancja w UV ₂₅₄ nm,–	minimum	6,1	7,2	7,5	5,3	6,4	5,1	7,8
	średnia	7,5	8,8	10,1	7,7	7,3	5,5	
	maksimum	10,6	10,4	12,7	10,2	13,2	5,9	

Dr W. Balcerzak, dr inż. P. Kułakowski: Politechnika Krakowska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, [wb@vistula.wis.pk.edu.pl](mailto:w@vistula.wis.pk.edu.pl)
K. Łuszczek: Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA w Krakowie, ul. Senatorska 1, 30–106 Kraków

przez złoża piaskowe i filtracji przez złoża węglowe, natomiast układ badawczy II obejmował procesy filtracji przez złoża piaskowe, ozonowania i filtracji przez złoża węglowe. Obydwa układy zasilane były wodą po procesach koagulacji i sedimentacji w układzie technologicznym stacji „Rudawa”.



Rys. 1. Schemat stacji pilotowej

Podstawowe parametry stacji pilotowej były następujące:

- wydajność: $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$, (dwa ciągi po $0,15 \text{ m}^3/\text{h}$),
- prędkość filtracji: $6,5 \text{ m/h}$,
- uziarnienie złożeń piaskowych: $0,5\text{--}1,0 \text{ mm}$,
- częstość płukania złożeń piaskowych: dwukrotnie w ciągu doby,
- uziarnienie złożeń węglowych: $0,8\text{--}1,0 \text{ mm}$,
- częstość płukania złożeń węglowych: co dwie doby,
- średni czas kontaktu ozonu z wodą: 24 min ($2 \times 12 \text{ min}$),
- dawka ozonu: $0,2\text{--}2,1 \text{ gO}_3/\text{m}^3$.

Metodyka badań

Próbki pobierano codziennie, w sposób umożliwiający ocenę jakości wody po każdym procesie jednostkowym:

- w układzie I: po komorze kontaktowej I, po złożu piaskowym I oraz po złożu węglowym I,
- w układzie II: po złożu piaskowym II, po komorze kontaktowej II oraz po złożu węglowym II,
- w układzie odniesienia: po złożu piaskowym oraz po złożu węglowym.

Zakres badań analitycznych był następujący: zawartość OWO, absorbancja w $\text{UV}_{254 \text{ nm}}$, mętność, pH, utlenialność, a także zawartość aldehydów.

Dyskusja wyników

Wskaźniki charakteryzujące skuteczność analizowanych układów oczyszczania wody, w porównaniu do ciągu technologicznego „Rudawa”, przedstawiono na rysunku 2. Na podstawie analizy uzyskanych wyników można sformułować następujące uogólnienia:

Absorbancja w UV

- zastosowanie procesu ozonowania zarówno przed złożami piaskowymi, jak i węglowymi, pozwoliło na zmniejszenie wartości tego wskaźnika o ok. 20%, w porównaniu z efektami uzyskiwanymi w układzie bez ozonowania,
- niezależnie od zastosowanej dawki ozonu, uzyskano podobne efekty w obydwu układach badawczych,

- miejsce zastosowania ozonu praktycznie nie miało wpływu na skuteczność oczyszczania wody,

- optymalna dawka ozonu wynosiła około $1 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, natomiast wzrost dawki tylko nieznacznie poprawił skuteczność zmniejszenia absorbancji w UV,

Utlenialność

- analiza zmian utlenialności wody wykazała zbliżoną skuteczność jej zmniejszania w obu układach technologicznych, przy czym w większości wypadków układy z zastosowaniem ozonowania wykazywały nieznacznie lepsze efekty,

- nie stwierdzono wyraźnego wpływu dawki ozonu na skuteczność zmniejszania utlenialności wody,

Ogólny węgiel organiczny

- analiza zmian zawartości OWO nie wykazała wyraźnych różnic w skuteczności zmniejszania wartości tego wskaźnika w badanych układach technologicznych (średni stopień usuwania OWO wynosił $22\text{--}26\%$),

- nie stwierdzono wyraźnego wpływu dawki ozonu na efekty usuwania OWO,

Barwa

- zastosowanie ozonowania zarówno przed złożami piaskowymi, jak i węglowymi, pozwoliło na zmniejszenie wartości tego wskaźnika o około 25%, w porównaniu z efektami uzyskiwanymi w układzie bez ozonowania,

- intensywność barwy wody oczyszczonej po zastosowaniu ozonowania była zazwyczaj ok. 2-krotnie niższa niż bez procesu ozonowania,

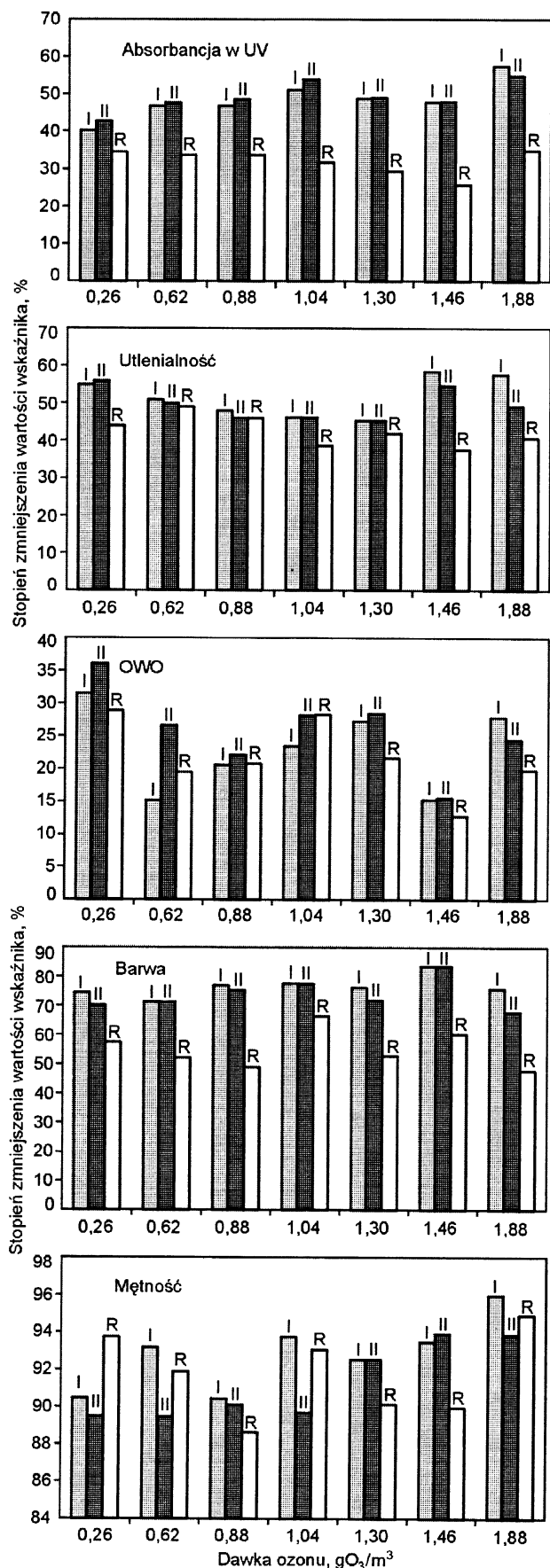
- niezależnie od zastosowanej dawki ozonu uzyskano podobne efekty w obydwu układach badawczych,

- miejsce zastosowania ozonu praktycznie nie miało wpływu na końcowe efekty oczyszczania wody,

- optymalna dawka ozonu wynosiła około $0,9 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, a zwiększenie dawki tylko nieznacznie poprawiło skuteczność efektywność zmniejszenia intensywności barwy wody,

Mętność

- analiza zmian mętności wody nie wykazała istotnych różnic w zmniejszaniu wartości tego wskaźnika w badanych układach technologicznych, przy czym średni stopień skłarowania wody wynosił powyżej 90%,



Rys. 2. Skuteczność zmniejszania wartości wybranych wskaźników jakości wody (I – układ badawczy I, II – układ badawczy II R – układ odniesienia stacja „Rudawa”)

– w miejscu wprowadzenia ozonu (komory kontaktowe) zwykle obserwowano podwyższenie mętności wody, przy czym było ono znacznie większe w II układzie badawczym,

– optymalna dawka ozonu wynosiła powyżej 1 gO₃/m³,

Aldehydy

– ze względu na duże znaczenie aldehydów, jako wskaźnika skuteczności przebiegu ozonowania, określono ich względny przyrost, który wynosił: po komorze kontaktowej I – 19,4%, po filtrze węglowym I – 1,4%, po komorze kontaktowej II – 5,9% oraz po filtrze węglowym II – 2,1%. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w procesie ozonowania powstały aldehydy, przy czym ich zawartość po złożach węglowych została obniżona, jednak nadal była wyższa niż w wodzie surowej.

Stosunek absorpcji w UV do OWO

W celu oceny charakteru przemian związków organicznych zachodzących podczas ozonowania wody przeanalizowano wartość stosunku absorpcji w UV do zawartości OWO w wodzie, ponieważ wskaźniki te opisują inne cechy związków organicznych:

– oznaczenie absorpcji w UV obejmuje przede wszystkim związki o złożonej budowie chemicznej, zawierające np. wiązania wielokrotne lub cykliczne, w tym przede wszystkim związki zawierające pierścień aromatyczny,

– oznaczenie OWO obejmuje wszystkie rozpuszczone związki organiczne, zatem również te o prostej budowie, nie oznaczane jako absorpcja w UV.

Wartość stosunku absorpcji w UV do zawartości OWO wynosiła:

– układ I:

– po osadniku: 1,57,

– po komorze kontaktowej: 1,09,

– po złożu piaskowym: 1,09,

– po złożu węglowym: 1,06,

– układ odniesienia po złożu piaskowym: 1,47,

– układ odniesienia po złożu węglowym: 1,36,

– układ II:

– po osadniku: 1,57,

– po złożu piaskowym: 1,56,

– po komorze kontaktowej: 1,17,

– po złożu węglowym: 1,08.

We wszystkich wypadkach stwierdzono wyraźne obniżenie wartości stosunku absorpcji w UV do zawartości OWO w wodzie poddanej procesowi ozonowania (po komorze kontaktowej). Świadczyło to o zmianie charakteru zanieczyszczeń organicznych, tzn. w wyniku utlenienia ozonem zmniejszyła się zawartość związków o bardziej skomplikowanej budowie (oznaczanych jako absorpcja w UV) na rzecz związków prostszych, nie oznaczanych tą metodą.

Wnioski

♦ Badania technologiczne nad ozonowaniem wody, poddanej uprzednio procesom koagulacji i sedymentacji, wykazały, że ozonowanie pozwala zwiększyć skuteczność oczyszczania wody w układzie technologicznym stacji „Rudawa”.

♦ Analiza uzyskanych wyników nie wykazała różnic pomiędzy stosowaniem procesu ozonowania w układzie przed złożami piaskowymi i przed złożami węglowymi. W obydwu wypadkach uzyskano podobną końcową skuteczność oczyszczania wody.

♦ Optymalna dawka ozonu, dla której uzyskano wysoki stopień zmniejszenia analizowanych wskaźników wahała się w zakresie $0,9+1,1 \text{ gO}_3/\text{m}^3$.

♦ Zastosowanie ozonowania, niezależnie od przyjętego układu, pozwoliło na poprawę skuteczności oczyszczania wody w wypadku absorbancji w UV o około 20%, a w wypadku barwy o około 25%.

♦ Proces ozonowania prowadził do zwiększenia zawartości aldehydów w wodzie o kilka/kilkanaście procent, co może być interpretowane jako wynik rozkładu związków organicznych o złożonej budowie do związków prostszych, na przykład niskocząsteczkowych kwasów organicznych. Potwierdza to stwierdzone obniżenie wartości stosunku absorbancji w UV do zawartości OWO w wodzie poddanej procesowi

ozonowania, spowodowane zmniejszeniem zawartość związków o bardziej skomplikowanej budowie (oznaczonych jako absorbancja w UV) na rzecz związków prostszych, które nie absorbują promieniowania UV.

LITERATURA

1. Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne [red. J. NAWROCKI, S. BIŁOZOR]. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 2000.
2. L. KIEDRYŃSKA: Zasiedlanie granulowanych węgli aktywnych przez mikroorganizmy w procesie uzdatniania wody. *Ochrona Środowiska*, 2004, nr 1, ss. 39–42.
3. Zastosowanie procesu ozonowania jako nowego elementu układu technologicznego uzdatniania wody z określeniem wpływu tego procesu na efektywność działania filtrów węglowych i ich trwałość w ZUW „Rudawa” (cz. I–II). Kraków 2004 (praca nie publikowana).

Balcerzak, W., Kułakowski, P., Łuszczek, K. Effect of Ozonation on the Performance of Active Carbon Filter Beds. *Ochrona Środowiska* 2005, Vol. 27, No. 3, pp. 57–60.

Abstract: The investigations were carried out at the pilot station of the Water Treatment Plant "Rudawa" supplying tap water to the city of Cracow. The aim of the study was to establish in which part of the treatment train the ozonation process should be included. In the experiments use was made of two systems. In one of these, ozonation was performed prior to sand filtration and active carbon filtration, while in the other one ozonation was carried out after sand filtration and was followed by filtration through an active carbon bed. Both systems were fed with water treated by coagulation and sedimentation according to the

treatment train used in the Water Treatment Plant "Rudawa". The study produced the following findings: regardless of whether ozonation was conducted before the sand filter or the carbon filter the final treatment efficiencies were similar. The ozone dose yielding the highest extent of pollutant removal ranged between 0.9 and $1.1 \text{ gO}_3/\text{m}^3$. With both systems, treatment efficiency was enhanced by about 20% and about 25% for UV absorbance and color matter, respectively. The ozonation process accounted for a rise in the aldehydes content by over 10%. This may be interpreted as being due to the decomposition of organic compounds from complex into simpler structures, e.g. into low-molecular-weight organic acids.

Keywords: Water treatment, ozonation, sorption, active carbon.