

Włodzimierz Możaryn, Barbara Chmielarz

Badania pilotowe efektywności flotacji ciśnieniowej w koagulacji zanieczyszczeń wody z Wisłoka

Proces ciśnieniowej flotacji, jako efektywny sposób usuwania skoagulowanych zanieczyszczeń z wody, cieszy się od dłuższego już czasu znacznym zainteresowaniem. W Europie pracuje około stu zakładów wodociągowych stosujących tę technologię w procesie uzdatniania wody [1]. Pierwsze instalacje do flotacji ciśnieniowej w skali technicznej powstały w krajach skandynawskich oraz Anglii w połowie lat 60. W tym samym czasie zastosowano ją w Południowej Afryce. Pierwszą instalację w Stanach Zjednoczonych uruchomiono w Westchester Conty stosunkowo późno, bo w 1993 r. [2]. W ostatnim czasie metodę tę z powodzeniem zastosowano w Australii [3].

Proces flotacji polega na wyniesieniu cząstek zawieszonych w wodzie na jej powierzchnię [4]. Większość zawieszin (produkty hydrolizy koagulantów, glony) ma zwykle gęstość nieco większą od wody. Wysoką efektywność wynoszenia osiąga się stosując czynniki wspomagające. W nowoczesnych instalacjach są to mikropęcherzyki powietrza, które łącząc się z cząstkami zawieszin tworzą łatwo flotujące aglomeraty. Mikropęcherzyki uzyskuje się przez zawrócenie części oczyszczonej wody, jej wysycenie powietrzem pod ciśnieniem i odprężenie – zwykle w specjalnych dyszach – w komorze reakcji flotatora. Tak prowadzony proces zwany jest flotacją ciśnieniową (*dissolved air flotation* – DAF). Ciśnienia wynoszą zwykle powyżej 5 bar, zaś strumień recyrkulacji stanowi około 10% przepływu.

Doświadczenia pokazują, że flotację można z powodzeniem stosować do wszystkich wód powierzchniowych, których mętność nie przekracza 100 NTU. Szczególnie dobre rezultaty osiąga się dla wód silnie obciążonych planktonem, o wysokiej barwie, wód o niskiej mętności i niskiej zasadowości oraz przy niskich temperaturach, z tendencją do osiągnięcia stanów przesylenia powietrzem. W porównaniu do innych sposobów wydzielenia zawieszin flotacja ma wiele zalet, ale ma również wady [5,6] (tab.1). Skuteczność flotacji bardzo silnie zależy od skuteczności poprzedzającej ją koagulacji. W wypadku wysokiej liczebności glonów należy je co najmniej obezwładnić utleniaczami.

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane wyniki rocznych badań pilotowych flotacji ciśnieniowej. Badania przeprowadzono w Zakładzie Uzdatniania Wody „Zwięczyca” w Rzeszowie. Wodę czerpano z ujęcia brzegowego na Wisłoku. Jest to rzeka o charakterze górskim, o względnie czystej wodzie, z gwałtownymi, krótkotrwałymi, obniżeniami jakości

Tabela 1. Zalety i wady flotacji w odniesieniu do metod sedymentacji zawieszin

Zalety	Wady
Kilkakrotnie wyższa przepustowość urządzeń, przy porównywalnej objętości	Konieczność recyrkulacji wody (nawet do 15%)
Obniżone zapotrzebowanie na koagulant	Dodatkowa ciśnieniowa instalacja nasycania wody powietrzem
Duża odporność procesu na zaburzenia przepływu, składu wody oraz zmiany temperatury	–
Dużo wyższa zawartość ciał stałych w zgarnianym z powierzchni osadzie	–
Bardzo szybkie uruchamianie i wpracowywanie układu	–

podczas przyborów (obfite opady lub roztopy). Zjawiskami utrudniającymi uzdatnianie są zakwity planktonu w porze wysokich temperatur wody. Przy średniej liczbie organizmów do kilku tysięcy w 1 cm³ (z przewagą zielenicy i okrzemki), niedługo osiągną one wartości dziesięciokrotnie wyższe [7].

ZUW „Zwięczyca” składa się z dwóch ciągów technologicznych. Ciąg I o wydajności nominalnej 36500 m³/d to ciąg podstawowy, pracujący ze stałą wydajnością, natomiast ciąg II o wydajności nominalnej 4700 m³/d jest traktowany jako uzupełniający. Jego wydajność jest zmienna, dopasowana do zapotrzebowania na wodę. Taki podział ról jest spowodowany głównie tym, że sześć poziomych osadników II ciągu o wymiarach 41,5×5,5 m i efektywnej głębokości 2,3 m ma nominalny czas przepływu tylko 1,6 h. Dla prędkości przepływu 26,3 m/h i przy obciążeniu powierzchniowym 1,46 m³/h są to wartości znacznie przekraczające graniczne wartości dla osadników poziomych. Koncepcja rozwiązania tego problemu zakłada wyposażenie osadników we wkłady wielostrumieniowe, względnie zastosowanie flotacji ciśnieniowej [8].

Badania pilotowe miały z jednej strony ocenić możliwość rozwiązania problemu efektywnego wydzielenia zawieszin pokoagulacyjnych na II ciągu technicznym ZUW, z drugiej zaś strony dostarczyć niezbędne dla procesu projektowania parametry technologiczne.

Sposób prowadzenia badań

Badania procesu flotacji prowadzono w sesjach (przeciętna sesja 2+4 d) w okresie od połowy lipca 1997 r. do połowy września 1998 r. Układ badawczy składał się z kolumny ozonowania wstępnego wody surowej, mieszacza szybkiego (mieszacz statyczny), dwustopniowego mechanicznego mieszacza wolnego oraz komory flotacji. Część wody po flotacji

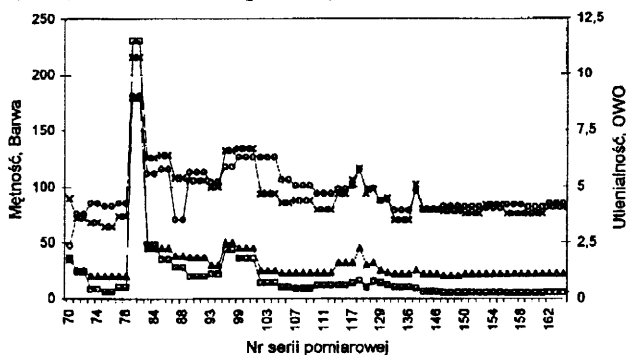
Dr inż. W. Możaryn: Zakład Rozwoju Nowych Technik Ochrony Środowiska ELIMP Sp. z o.o., ul. Cybernetyki 13, 02-677 Warszawa

Mgr inż. B. Chmielarz: Rzeszowska Gospodarka Komunalna Sp. z o.o. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, ul. A. Naruszewicza 18, 35-055 Rzeszów

Tabela 2. Podstawowe parametry technologiczne ciągów uzdatniania wody

Proces	Ciąg flotacji	Ciąg podstawowy	Ciąg techniczny
Przepływ nominalny	2 m ³ /h	1 m ³ /h	2000 m ³ /h
Ozonowanie wstępne	Jak w ciągu technicznym	Jak w ciągu technicznym	Ozon wytwarzany z tlenu wprowadzanie do wody iniektorowe rozprowadzanie w komorze ozonowania przez dyfuzor dawki ozonu 1+2,5 gO ₂ /m ³ czasy kontaktu 16,5-19,5 min
Koagulacja (szybkie mieszanie)	Mieszacz statyczny czas mieszania ok. 0,1 s dawki koagulantu jak w układzie technicznym	Mieszacz mechaniczny mieszadło turbinowe czas mieszania ok. 20 s dawki koagulantu jak w układzie technicznym	Mieszacz iniektorowy (6 szt. w układzie równoległym), dozowanie koagulantu optymalizowane
Flokulacja (wolne mieszanie)	Dwa mieszacze szeregowo po 0,35 m ³ mieszadła ramowe, pionowe głębokość 1,4 m czas kontaktu 2 razy po 10,5 min dawki flokulantu 0,15 g/m ³	Mieszacz mechaniczny mieszadło ramowe, pionowe czas kontaktu ok. 20 min dawki flokulantu jak na ciągu technicznym	6 mieszalników równoległych po 140 m ³ średnica x wysokość 7,8x3 m mieszadła ramowe, pionowe czasy przebywania 48-56 min dawki flokulantu 0,1+0,15 g/m ³
Wydzielanie zawieszin	Flotacja (ciśnieniowa powietrzem) czas kontaktu 10 min obciążenie powierzchniowe ok. 8 m/h stopień cyrkulacji 10% saturacja 66,5 bar, 5+7 min	Klarowanie osadnik pionowy z osadem zawieszonym objętość ok. 5,15 m ³ średnica 1,15 m, wysokość osadu ok. 1,6 m obciążenie powierzchniowe ok. 1 m/h czas przebywania ok. 2,6 h	Sedymentacja 6 osadników poziomych po 550 m ³ długość x szerokość 41,5x5,5 m czasy przebywania 3,2+3,7 h

zawracano pompą do układu saturacji, którego zasadniczym elementem był zbiornik z wypełnieniem. Wodę nasyconą powietrzem pod ciśnieniem 6,0+6,5 bar odprężano na dwóch dyszach umieszczonych u wlotu wody do komory flotacji. Osad odbierano techniką okresowego spiętrzania wody w komorze flotacji. Usytuowany na odpowiednim poziomie przelew na całej szerokości komory zapewniał łagodny spływ wierzchniej warstwy wody z osadem do kanalizacji. Zespół membranowych i perystaltycznych pomp dozujących dawał możliwość dawkowania koagulantu, flokulantu oraz korekty pH roztworem kwasu siarkowego. Nominalna wydajność układu pilotowego wynosiła 2 m³/h. Podstawowe parametry techniczno-technologiczne układu flotacji podano w tabeli 2. Równocześnie zamieszczono w niej parametry techniczno-technologiczne ciągów, których efektywność uzdatniania porównywano z efektywnością flotacji. Był to ciąg podstawowy stacji pilotowej, w którym do wydzielania osadu zastosowano pionowy klarownik z osadem zawieszonym oraz II ciąg techniczny ZUW z klasycznymi osadnikami poziomymi.



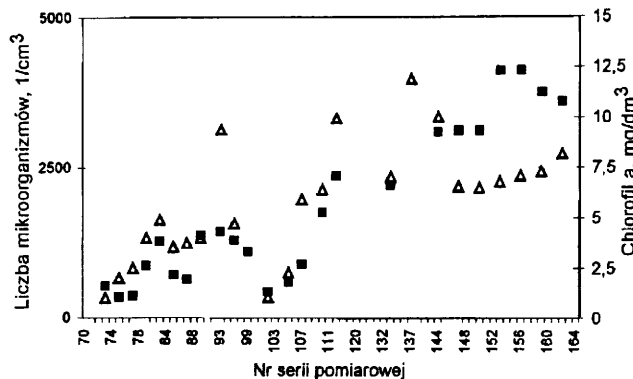
Rys. 1. Zmienność wskaźników jakości wody w Wisłoku (kwadraty – mętność w NTU, trójkąty – barwa w gPt/m³, krzyżyki – utlenialność w gO₂/m³, kółka – OWO w gC/m³)

Ciąg podstawowy stacji pilotowej pracował z nominalną wydajnością 1 m³/h, zaś II ciąg techniczny pracował w okresie porównawczym z wydajnością około połowę mniejszą od nominalnej (850+1050 m³/h), co spowodowało odpowiednie wydłużenie czasów kontaktu.

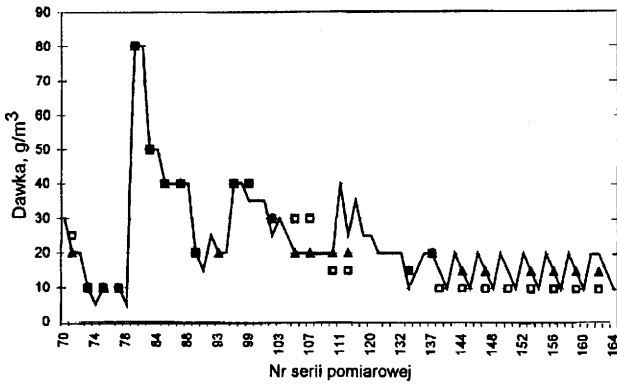
Od początku maja 1998 r. uruchomiono ozonowanie wstępne wody surowej na stacji technicznej. Od tego momentu ciąg flotacji oraz ciąg podstawowy stacji pilotowej były zasilane tą samą, wstępnie ozonowaną wodą z układu technicznego. Parametry jakościowe próbek wody analizowano zgodnie z Polskimi Normami lub stosując procedury firmy HACH (spektrofotometr HACH DR 2000, mętnościomierz HACH 2100AN).

Wyniki badań

W celu porównania efektywności rozpatrywanych ciągów technologicznych wybrano wyniki uzyskane w maksymalnie zbliżonych warunkach. Ograniczono się do okresu, w którym wszystkie ciągi były zasilane tą samą wodą, a więc po uruchomieniu ozonowania



Rys. 2. Liczba organizmów oraz zawartość chlorofilu w wodzie surowej (kwadraty – organizmy, trójkąty – chlorofil)



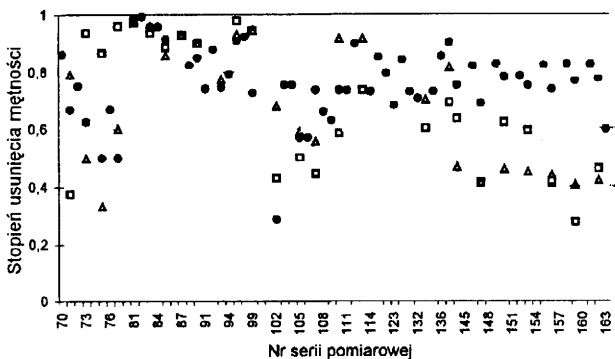
Rys. 3. Dawki siarczanu glinu w cyklu badawczym

na stacji technicznej, zaś dawki koagulantów były bardzo zbliżone. Dawki flokulantów na ciąg podstawowy oraz II ciągu technicznym były identyczne i stosowano je w całym okresie badawczym. Flokulant na ciąg flotacji stosowano tylko w około 1/3 serii okresu badawczego.

Zmiany jakości wody surowej oraz stosowane dawki koagulantów pokazano na rysunkach 1-3. Parametry fizyczno-chemiczne wody surowej w rozpatrywanym czasie wykazywały typowe dla Wisłoka poziomy i zmienność. Wyjątek stanowił silny przybór wody w rzece w dniach 5-10 czerwca 1998 r. (serie 80-81). Liczba organizmów planktonowych i związana z tym zawartość chlorofilu rosły, nie osiągając jednak poziomu zakwitnięcia (zwykle powyżej 20 tys. org./cm³). Efektywność obniżania wskaźników jakości wody względem wody surowej oraz liczby organizmów planktonu pokazano na rysunkach 4-8. Badania wykazały, że sprawność ciągu flotacji nie ustępowała sprawności pozostałych układów. W celu dokładniejszego określenia różnic w poszczególnych ciągach technologicznych zestawiono średnie wartości stopni redukcji w tabeli 3.

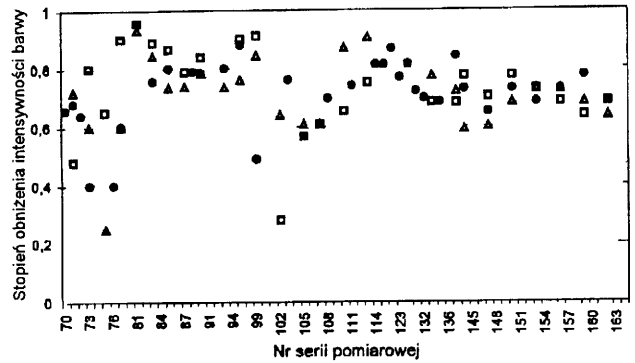
Tabela 3. Średnia procentowa efektywność uzdatniania wody w porównywanych ciągach technologicznych

Parametr	Ciąg flotacji	Ciąg podstawowy	Ciąg techniczny
Mętność	76,4	68,3	68,2
Barwa	71,7	72,7	70,4
Utlenialność	31,8	38,0	30,2
OWO	10,4	13,1	7,0
Liczba organizmów	89,4	87,2	87,9
Chlorofil (a)	79,4	75,1	70,8

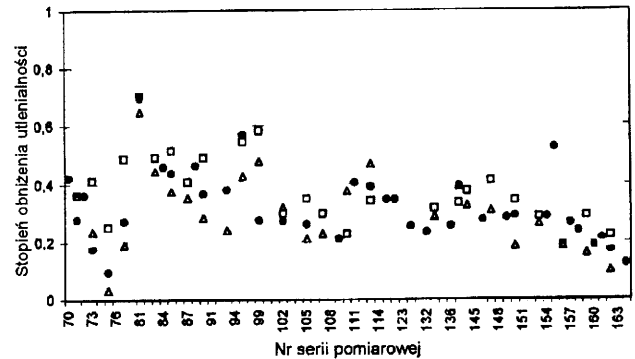


Rys. 4. Usuwanie mętności wody w cyklu badawczym (kółka - FLO, kwadraty - OSP, trójkąty - OSTII)

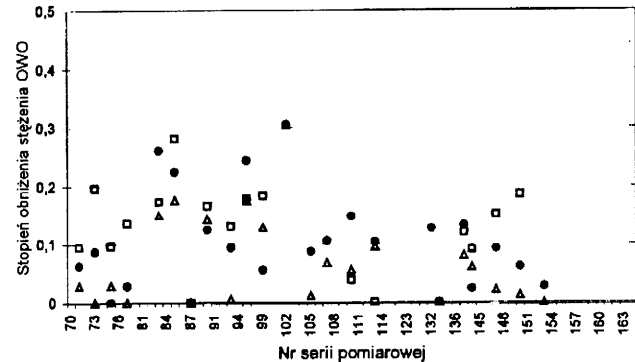
Nie stwierdzono znaczących różnic w sprawności poszczególnych układów, z wyjątkiem usuwania ogólnego węgla



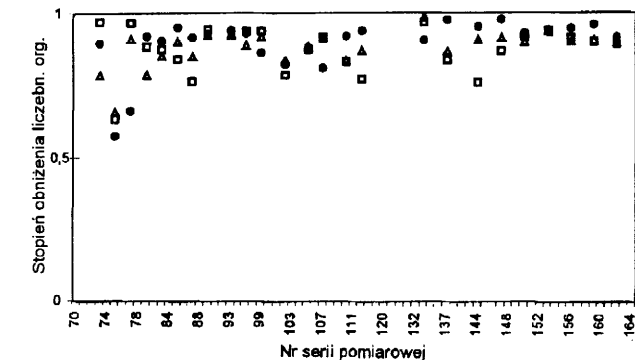
Rys. 5. Obniżenie intensywności barwy wody w cyklu badawczym (kółka - FLO, kwadraty - OSP, trójkąty - OSTII)



Rys. 6. Obniżenie utlenialności wody w cyklu badawczym (kółka - FLO, kwadraty - OSP, trójkąty - OSTII)



Rys. 7. Usuwanie ogólnego węgla organicznego z wody w cyklu badawczym (kółka - FLO, kwadraty - OSP, trójkąty - OSTII)



Rys. 8. Obniżenie liczebności organizmów w wodzie w cyklu badawczym (kółka - FLO, kwadraty - OSP, trójkąty - OSTII)

organicznego w ciąg technicznym. Flotacja okazała się najefektywniejsza w usuwaniu mętności oraz organizmów planktonowych, zaś klarownik pilotowy okazał się nieco bardziej efektywny w obniżaniu intensywności barwy, utlenialności oraz ogólnego węgla organicznego.

Wnioski

♦ Flotacja ciśnieniowa okazała się bardzo efektywnym procesem w usuwaniu z wody zawiesin pokoagulacyjnych oraz planktonu. Z trzech analizowanych układów technologicznych klasyczna sedimentacja w osadnikach poziomych najslabiej usuwała zanieczyszczenia z wody.

♦ Biorąc pod uwagę małą objętość urządzeń wymaganą do procesu flotacji oraz łatwość adaptacji istniejących osadników poziomych należy stwierdzić, że flotacja ciśnieniowa jest dobrym sposobem na zwiększenie wydajności II ciągu technicznego w ZUW „Zwięczyca”, zapewniając wyższą niż obecnie sprawność oczyszczania wody.

Niniejszą pracę wykonano w ramach grantu nr 5 PO5H002/96 C/3290, sfinansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

LITERATURA

1. Proc. conf. "Flotation Processes in Water and Sludge Treatment. Theory and Practice. New Developments and Opportunities", IAWQ, IWSA, AWWA, Orlando (USA) 1994.

2. D. NICOLS, G. C. MOERSCHELL, M. V. BRODER, The first DAF water treatment plant in the United States. Proc. conf. "Flotation Processes in Water and Sludge Treatment", IAWQ, IWSA, AWWA, Orlando (USA) 1994, pp. 313–326.
3. Materiały Informacyjne firmy Valmet Flootek AB.
4. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.
5. T. ZABEL: The advantages of dissolved air flotation for water treatment. Journal AWWA, 1985, Vol. 77, No. 5, pp. 42–46.
6. A. JODŁWSKI: Wpływ wybranych parametrów technologicznych na usuwanie glonów w procesie flotacji. Ochrona Środowiska, 1997, nr 4(67), ss 41–45.
7. S. FILIP, B. CHMIELARZ: Zagadnienia dotyczące technologii uzdatniania wody i ocena jej jakości. Mat symp. z okazji 60-lecia Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie, Rzeszów 1994 (praca nie publikowana).
8. W. MOŻARYN, E. LATAWIEC, L. DYDYCZ, J. PASEWICZ, B. CHMIELARZ, S. FILIP: Koncepcja modernizacji i rozbudowy Zakładu Uzdatniania Wody „Zwięczyca” w Rzeszowie na podstawie badań pilotowych. Ochrona Środowiska, 1997, nr 4(67), ss 25–26.

Pilot-Plant Investigations into the Efficiency of Flotation in the Coagulation of Riverine Water Pollutants

Dissolved air flotation was carried out at the 2 m³/h capacity pilot plant of the Zwięczyca Waterworks supplying municipal water (taken in from the river Wisłok) to the city of Rzeszów. The efficiency of the process was compared with that of the

conventional coagulation-sedimentation treatment train and was found to be almost equally high at far more moderate space demands.