

Marek Kulesza, Krzysztof Ozimiński

Uzdatnianie wody w procesie flotacji ciśnieniowej na stacji pilotowej Wodociągu Północnego

Flotacja ciśnieniowa jest jedną z wielu metod flotacyjnych, charakteryzujących się zjawiskiem wynoszenia na powierzchnię cieczy zawartych w niej ciał stałych (zawiesin) lub ciekłych (olejów, tłuszczów) przy pomocy pęcherzyków gazu (najczęściej powietrza) o średnicy $20\div 100\ \mu\text{m}$. Wykorzystywane w procesie flotacji zjawisko tworzenia trwałego aglomeratu, złożonego z fazy rozproszonej i pęcherzyka gazu, o pozornym ciężarze właściwym mniejszym od ciężaru właściwego cieczy, powoduje jego wynoszenie na powierzchnię zwierciadła cieczy. Podstawowym warunkiem właściwego przebiegu flotacji jest mała zwilżalność fazy rozproszonej przez ciecz.

Przeprowadzone badania oraz praktyka ostatnich lat wykazały, że flotacja znajduje coraz szersze zastosowanie w technologii uzdatniania wody, zwłaszcza dla wód silnie zeutrofizowanych, zawierających glony, oraz do oczyszczania ścieków i zagęszczania osadów ściekowych. Można stwierdzić, że flotacja ciśnieniowa jest metodą o wysokim stopniu usuwania zanieczyszczeń, z równoczesnym znacznym skróceniem czasu trwania tego procesu, np. w porównaniu z sedymentacją. Zastosowanie flotacji pozwala na usunięcie $60\div 96\%$ całkowitej ilości zawieszin zawartych w oczyszczanej cieczy. Stopień usuwania zależy m.in. od rodzaju oczyszczanej cieczy oraz stężenia zawieszin. Przy zastosowaniu koagulacji poprzedzającej proces flotacji uzyskuje się znacznie lepsze efekty oczyszczania, niż w wypadku samej flotacji. W zależności od zastosowanego układu technologicznego, flotacja może przebiegać wskutek:

- adhezji gazu na powierzchni zawieszin,
- adsorpcji gazu na powierzchni kłaczków reagentu, łącznie z zawieszinami i koloidami (w wypadku wprowadzenia do oczyszczanej cieczy koagulantów lub flokulantów),
- wnikięcia gazu w strukturę kłaczków, gdzie część pęcherzyków jest uwięziona przez cząstki reagentów.

Ten ostatni sposób ma miejsce jedynie wówczas, gdy pęcherzyki gazu i kłaczków powstają jednocześnie.

Na przebieg flotacji ciśnieniowej mają wpływ zmienne wielkości fizyczne procesu, takie jak ilość wydzielonego powietrza, początkowa zawartość usuwanego zanieczyszczenia (lub stosunek obu tych wielkości), czas flotacji, rodzaj i dawki zastosowanych reagentów oraz stopień recyrkulacji. Wzajemny wpływ i oddziaływanie tych parametrów na ostateczny efekt flotacji jest tematem wielu prac doświadczalnych, które wykazują, że wybór optymalnego układu i parametrów procesu dla każdego rodzaju oczyszczanej cieczy możliwy jest jedynie na podstawie doświadczalnych badań technologicznych.

Skomplikowany charakter fizyczny procesu flotacji ciśnieniowej, a także brak teorii pozwalającej na ściśle określenie parametrów prowadzenia procesu oraz indywidualny każdorazowo materiał badawczy, powodują konieczność prowadzenia badań technologicznych w dość szerokim zakresie. Celem takich badań jest przede wszystkim ustalenie korelacji pomiędzy zmiennymi wielkościami fizycznymi opisującymi proces flotacji w zastosowanym sposobie flotacji oraz wybór optymalnych parametrów prowadzenia procesu, takich jak rodzaj, ilość i dawki reagentów, stopień recyrkulacji oraz czas flotacji. W wypadku zastosowania koagulacji poprzedzającej flotację należy również dla tego procesu ustalić parametry pozwalające na uzyskanie jak najlepszych rezultatów końcowych.

W Zakładzie Wodociągu Północnego od dłuższego już czasu prowadzone są badania technologiczne, mające na celu znalezienie skutecznych metod usuwania zanieczyszczeń organicznych w procesie uzdatniania wody. Efektem dotychczasowych badań jest wprowadzenie wielu korzystnych zmian technologicznych, m.in. wyeliminowanie wstępnego chlorowania i wprowadzenie wstępnego ozonowania, zastosowanie drugiego koagulantu, rozpoczęcie budowy nowoczesnych filtrów węglowych oraz podjęcie decyzji o budowie instalacji do ozonowania końcowego. Obecny układ technologiczny uzdatniania wody z ozonowaniem wstępnym nie jest jednak rozwiązaniem optymalnym, zarówno w aspekcie szkodliwości niektórych ubocznych produktów ozonowania, jak też pod względem ekonomicznym. Dużo lepszym rozwiązaniem byłoby ozonowanie wody wstępnie oczyszczonej, pozbawionej znacznej ilości związków organicznych, co pozwoliłoby również na zmniejszenie dawek ozonu.

Badania z flotacją ciśnieniową są wyrazem stałej dbałości Wodociągu Północnego o jakość wody do picia i mają na celu dalszą poprawę efektów uzdatniania tak trudnej wody, jaką jest woda ujmowana z Zalewu Żegrzyńskiego. Ze względu na bardzo obszerny materiał badawczy, w niniejszym artykule ograniczono się jedynie do omówienia wpływu flotacji ciśnieniowej na usuwanie z wody związków organicznych, wyrażonych przy pomocy utlenialności i absorbancji UV (254 nm), a także zawartości fitoplanktonu, gdyż najczęściej te zanieczyszczenia przysparzają najwięcej problemów w stacjach uzdatniania ujmujących wody powierzchniowe.

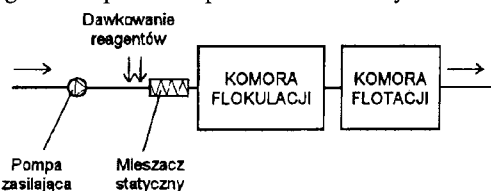
Układ badawczy

Pierwsze doświadczenia z zastosowaniem flotacji ciśnieniowej przeprowadzono na stacji pilotowej Wodociągu Północnego w okresie od maja do grudnia 1994 r., na niewielkiej stacji wypożyczzonej z wodociągów w Turku (Finlandia). Wstępne próby wypadły pomyślnie. W niespełna pięć miesięcy później

rozpoczęto badania przy użyciu nowo zbudowanej – we współpracy z firmą PURAC – nowoczesnej stacji flotacji o wydajności $5+15 \text{ m}^3/\text{h}$. Stacja ta, o dwóch oddzielnych liniach badawczych, została wyposażona w jeden – wspólny dla obu linii – saturator. Pracą tego urządzenia steruje mikroprocesorowy układ automatyki. Każda linia badawcza składa się z trójdzielnej komory flokulacji, wyposażonej w pionowe mieszałki ramowe z płynną regulacją prędkości obrotowej, oraz komory flotacji z mechanicznym zgarniaczem osadu. Opisane badania zostały wykonane we współpracy z technologami szwedzkiej firmy PURAC.

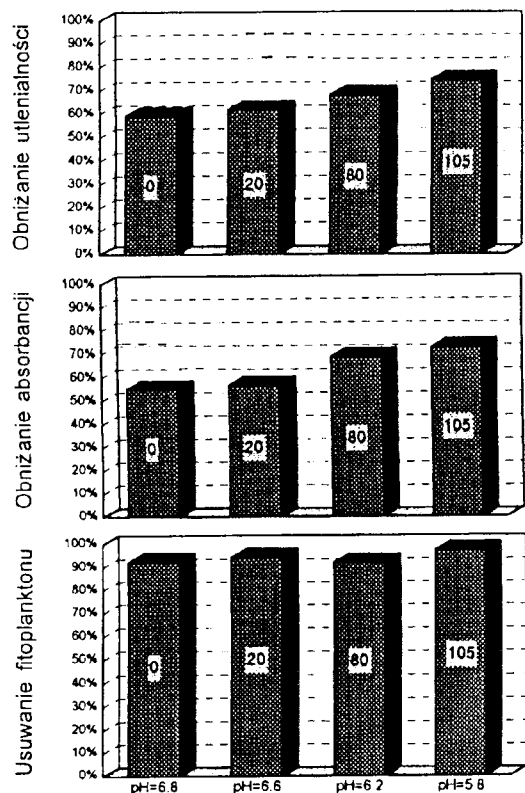
Flotacja jednostopniowa

I etap badań prowadzono w okresie od 12 maja do 9 czerwca 1995 r. Celem tego etapu badań było określenie optymalnego pH wody dla flotacji prowadzonej przy stałej dawce koagulantu, a następnie ustalenie optymalnej dawki koagulantu dla wybranego pH. Badania przeprowadzono dla obu stosowanych na Wodociągu Północnym koagulantów, tj. siarczana żelaza (PIX) i siarczana glinu (SAI). Schemat technologiczny układu zastosowanego w I etapie badań przedstawiono na rysunku 1.

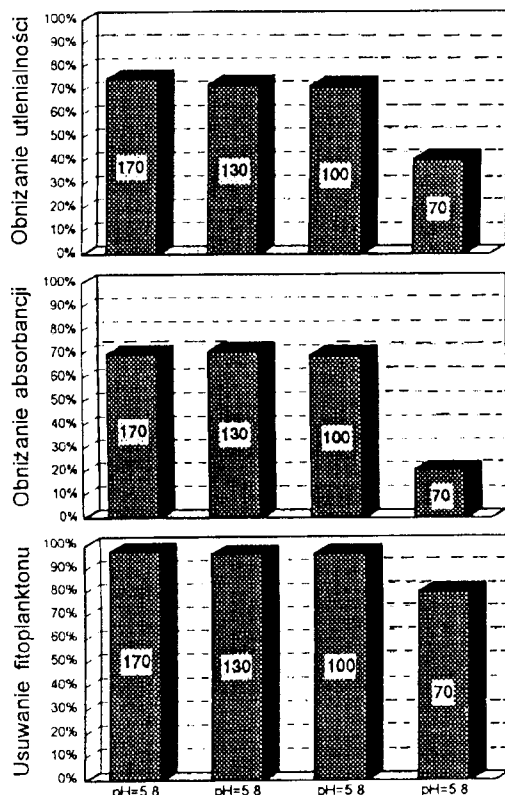


Rys. 1. Schemat układu badawczego koagulacji i flotacji ciśnieniowej na stacji pilotowej Wodociągu Północnego

Wybrane na podstawie wcześniejszych testów laboratoryjnych wartości pH (6,6, 6,2, 5,8) uzyskano zakwaszając wodę odpowiednimi dawkami kwasu siarkowego. Jednocześnie utrzymywano w tym czasie stałą dawkę PIX-u równą 170 g/m^3 .

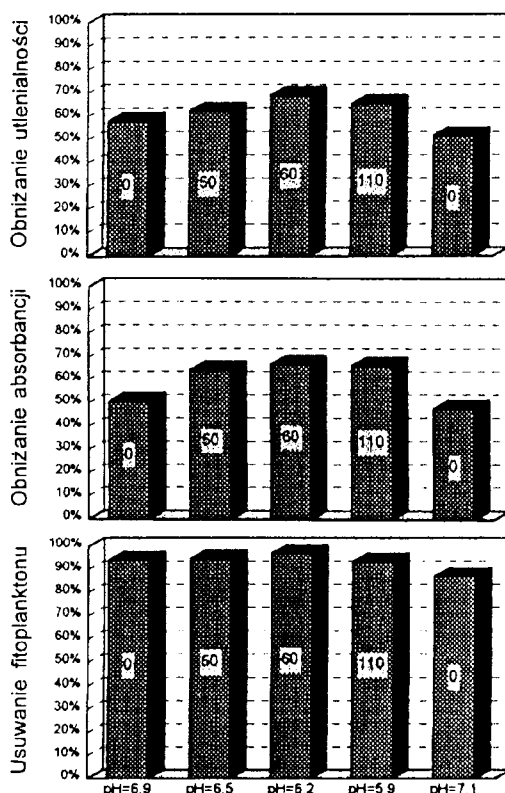


Rys. 2. Wpływ pH na usuwanie zanieczyszczeń podczas koagulacji i flotacji przy dawce PIX-u 170 g/m^3 (w słupkach dawki kwasu siarkowego, $\text{gH}_2\text{SO}_4/\text{m}^3$)

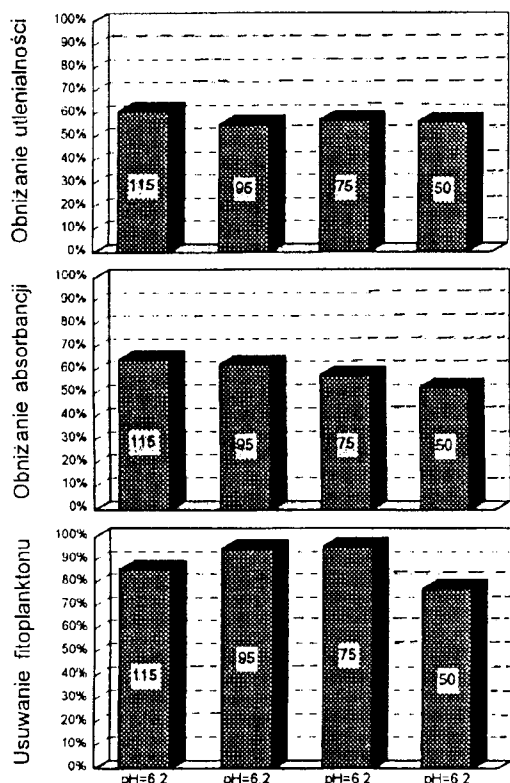


Rys. 3. Wpływ dawki PIX-u na usuwanie zanieczyszczeń podczas koagulacji i flotacji przy optymalnym pH=5,8 (w słupkach dawki PIX-u, g/m^3)

Ponieważ najlepsze efekty flotacji stwierdzono przy pH=5,8 (rys.2), dlatego też dalsze badania prowadzono przy tym pH wody, analizując efekty stosowania dawek PIX-u w zakresie $70+170 \text{ g/m}^3$. Utrzymywanie optymalnego w danych warunkach pH wody pozwoliło na wyraźne zmniejszenie



Rys. 4. Wpływ pH na usuwanie zanieczyszczeń podczas koagulacji i flotacji przy dawce SAI-u 100 g/m^3 (w słupkach dawki kwasu siarkowego, $\text{gH}_2\text{SO}_4/\text{m}^3$)



Rys. 5. Wpływ dawki SAI-u na usuwanie zanieczyszczeń podczas koagulacji i flotacji przy optymalnym pH=6,2 (w słupkach dawki SAI-u, g/m³)

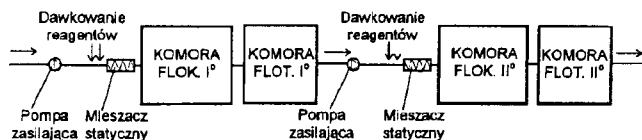
dawek PIX-u, przy zachowaniu praktycznie nie zmienionych efektów usuwania zanieczyszczeń. Znaczne pogorszenie nastąpiło dopiero po obniżeniu jego dawki do 70 g/m³ (rys.3).

Podobne badania przeprowadzono z użyciem siarczanu glinu (SAI). Wartości pH wynosiły 6,5, 6,2 i 5,9. Najlepsze efekty uzyskano prowadząc proces przy pH=6,2 i stałej dawce koagulantu 100 g/m³ (rys.4). W dalszej części badań zmieniano dawki w zakresie 50÷115 g/m³, utrzymując pH=6,2. Dla siarczanu glinu wpływ pH na uzyskiwane efekty był również wyraźny, choć nieco mniejszy niż dla PIX-u. Stwierdzono, że obniżenie dawek siarczanu glinu przy optymalnym pH powodowało tylko nieznaczne pogorszenie efektów uzdatniania (rys.5). Wyjątek stanowiło usuwanie fitoplanktonu (rys.5), jednak w tym czasie jego liczebność w wodzie surowej ulegała znacznym wahaniom. Wyraźnym potwierdzeniem korzystnego wpływu prowadzenia flotacji przy optymalnym pH wody było znaczne pogorszenie jakości wody na odpływie po zaprzestaniu jej zakwaszania (ostatni słupek na rys.4).

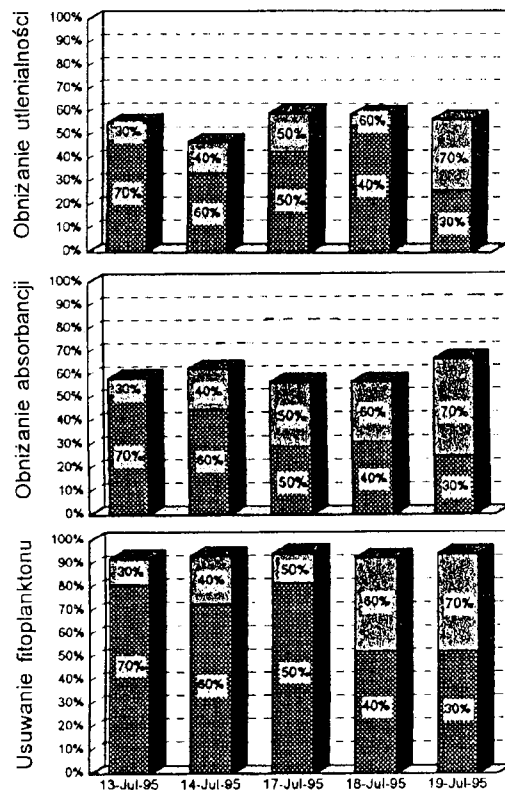
Flotacja dwustopniowa

II etap badań prowadzono w okresie od 13 lipca do 12 sierpnia 1995 r., wykorzystując obie linie badawcze stacji flotacji. Koagulant dawkowano przed komorami flokulacji, zarówno w pierwszej jak i w drugiej linii badawczej (rys.6).

Celem badań było sprawdzenie efektów zastosowania dwustopniowej koagulacji i flotacji oraz wyznaczenie optymalnych dawek obu koagulantów w I i II stopniu koagulacji. Zbadano

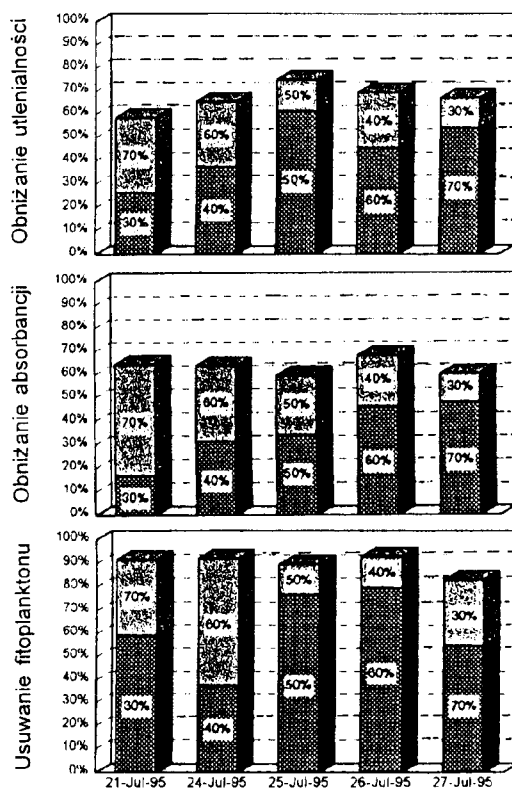


Rys. 6. Schemat układu badawczego dwustopniowej koagulacji i flotacji na stacji pilotowej Wodociągu Północnego

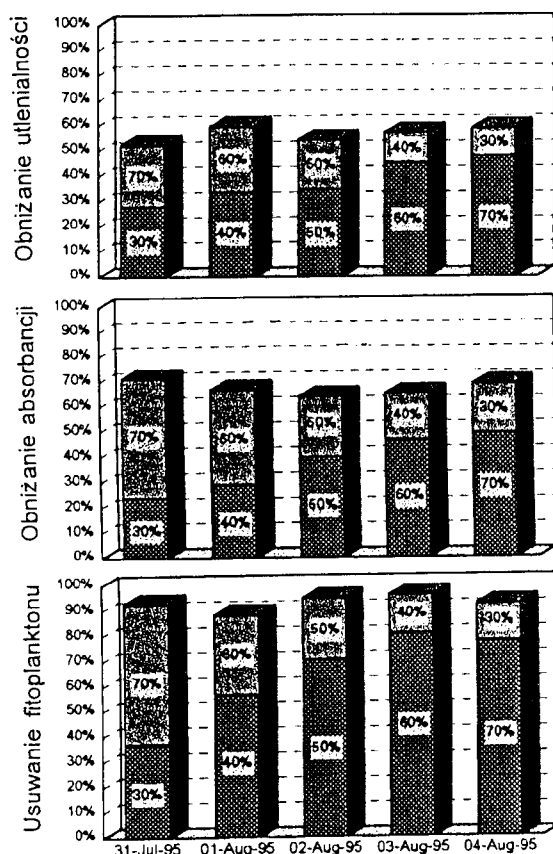


Rys. 7. Usuwanie zanieczyszczeń podczas dwustopniowej koagulacji i flotacji, w zależności od proporcji dawek SAI-u (dół - I°, góra - II°)

wszystkie możliwości stosowania koagulantów (SAI-SAI, PIX-PIX, PIX-SAI oraz SAI-PIX). Badania rozpoczęto od dawkowania siarczanu glinu do obu stopni, stosując w I stopniu 70% dawki porównawczej (jako dawkę porównawczą przyjęto dawkę koagulantu stosowaną w układzie technicznym przy braku ozonowania wstępnego). Pozostałe 30% koagulantu



Rys. 8. Usuwanie zanieczyszczeń podczas dwustopniowej koagulacji i flotacji, w zależności od proporcji dawek PIX-u (dół - I°, góra - II°)

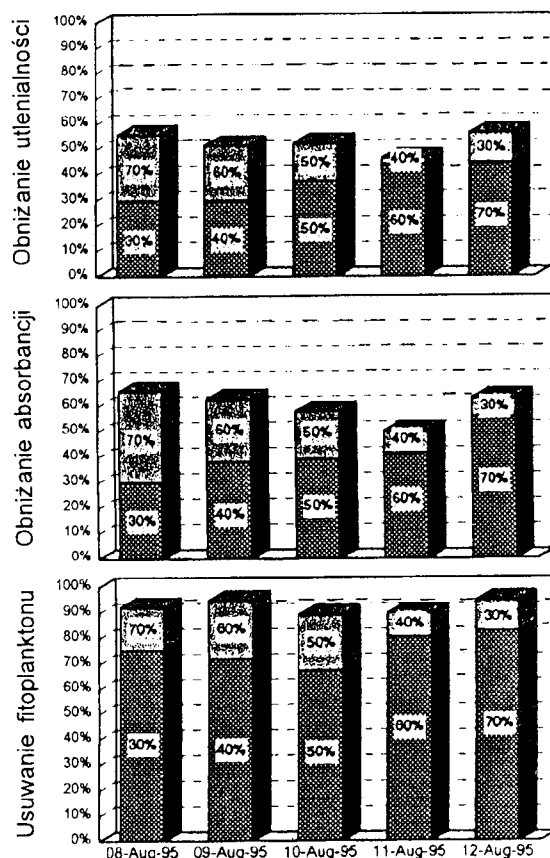


Rys. 9. Usuwanie zanieczyszczeń podczas dwustopniowej koagulacji i flotacji, w zależności od proporcji dawek PIX-u (dół – I^o) i SAI-u (góra – II^o)

dawkowano w II stopniu. Następnie w I stopniu zmniejszono dawkę koagulantu kolejno do 60, 50, 40 oraz 30%, zaś w II stopniu zwiększono ją odpowiednio do wartości 40, 50, 60 oraz 70% dawki porównawczej (rys.7). W analogiczny sposób przebadano pozostałe możliwości stosowania obu koagulantów (rys.8+10). Badania te wykazały, że nie wystąpiła żadna wyraźna i powtarzalna tendencja, pozwalająca na wskazanie proporcji koagulantów w I i II stopniu, zapewniających uzyskanie najlepszych rezultatów.

Wnioski

◆ Przeprowadzone badania potwierdziły, że flotacja ciśnieniowa, prowadzona przy optymalnym pH, jest wysoko sprawnym procesem usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody, umożliwiającym obniżenie utlenialności o 60+75%, absorbancji UV o 60+71% oraz zawartości fitoplanktonu o 92+98%.



Rys. 10. Usuwanie zanieczyszczeń podczas dwustopniowej koagulacji i flotacji, w zależności od proporcji dawek SAI-u (dół – I^o) i PIX-u (góra – II^o)

◆ Flotacja ciśnieniowa, poprzedzona koagulacją, pozwala na osiągnięcie wysokich efektów usuwania zanieczyszczeń z wody w czasie krótszym niż sedymentacja.

◆ Ważną zaletą flotacji ciśnieniowej jest – wielokrotnie obserwowane podczas planowych przełączeń w trakcie badań – bardzo szybkie wpracowywanie się urządzeń po ich włączeniu do ruchu. Czas potrzebny do uzyskania pełnych efektów technologicznych wynosił około dwóch godzin od włączenia instalacji i był średnio 20-krotnie krótszy niż w wypadku stosowania pulsatora.

LITERATURA

1. M. APOLINARSKI i inni: Wybrane procesy z technologii wody i ścieków. Wyd. PW., Warszawa 1983.
2. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: Oczyszczanie wody. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław 1996.

Water Pretreatment by Dissolved-Air Flotation (DAF): A Pilot-Scale Study for the Needs of the Northern Water Treatment Plant in Warsaw

The pilot plant is part of the water supply system in the north of Warsaw. The objective of the study was to investigate the utility of coagulation and DAF in the pretreatment of potable water. At the first stage of the experiments, optimum pH and optimum coagulant (ferric sulphate – PIX or alum) doses were established. The second stage involved experiments with two-stage coagulation and DAF, using all possible configurations of the coagulating agents at their optimal doses. Investigated

was the problem of how the DAF process affects the removal of phytoplankton and organic substances (expressed in terms of COD and UV absorbance). The results obtained seem to support the utility of DAF as a pretreating process for the needs of the Northern Water Treatment Plant. Removal efficiencies varied from 60 to 75%, from 60 to 71%, and from 92 to 98% for COD, UV absorbance and phytoplankton, respectively.