Grzegorz Koźmiński, Karol Kuś

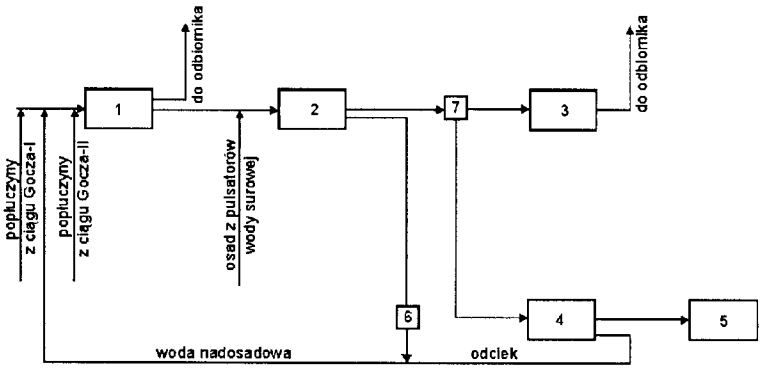
Uwarunkowania techniczno-ekonomiczne eksploatacji pulsatorów do oczyszczania wód popłucznych

W projekcie technicznym Stacji Uzdatniania Wody w Goczałkowicach do oczyszczania wód popłucznych przewidziano pulsatory, do których woda doprowadzana będzie rurociągiem ϕ 1.400 z obu ciągów technologicznych stacji, natomiast woda czysta odprowadzana będzie z każdego pulsatora rurociągiem ϕ 800. Nadmiar osadu zagęszczonego, zgromadzonego w lejach osadowych, będzie pompowany do zagęszczacza osadu rurociągiem ϕ 150. Do tych samych komór doprowadzany będzie również osad z pulsatorów wody surowej ciągu Gocza-II (rurociągiem ϕ 300). Zaprojektowano 16 komór o wymiarach 5,7×5,7 m, ze ściętymi narożami po 0,6 m. Zagęszczanie osadu odbywać się będzie przez początkowe 1,5 godz. w sposób grawitacyjny, a przez następne 1,5 godz. w sposób mechaniczny z wykorzystaniem mieszadeł. Każda z komór wyposażona jest w króćce doprowadzające osad ϕ 200, przelew ϕ 400, króćce odprowadzenia wody nadosadowej ϕ 150 oraz odprowadzenia osadu zagęszczonego ϕ 100. W hali komór umieszczono ponadto pompownię wody nadosadowej tłoczącą wodę do pulsatorów wód popłucznych oraz pompownię osadu zagęszczonego tłoczącą osad na poletka lub do obiektu odwadniania (rys.1).

Uwarunkowania energetyczne płukania filtrów

W projekcie technicznym filtrów pospiesznych założono systematyczne płukanie złóż w ciągu całej doby. W takim przypadku wody popłuczne doprowadzane byłyby do pulsatorów przez całą dobę z przerwami technologicznymi pomiędzy płukaniami. Czas trwania przerw będzie stały i uzależniony od częstotliwości płukania złóż filtracyjnych (tab.1). W zależności od liczby pracujących pulsatorów ich obciążenie wahałoby się od 0,222 m^3/s do 0,963 m^3/s. W takim przypadku pulsatory pracowałyby w sposób ciągły, a ich eksploatacja nie różniłaby się zasadniczo od eksploatacji pulsatorów głównego ciągu technologicznego o wydajności 0,512 m^3/s każdy.

Pomimo oczywistych korzyści eksploatacyjnych taka praca pulsatorów okazała się niemożliwa, gdyż zakładała konieczność poboru energii elektrycznej na płukanie filtrów również w godzinach szczytu energetycznego, na co z kolei nie wyraża zgody zakład energetyczny, wprowadzając pewne ograniczenia poboru mocy i wyższą cenę energii w tych godzinach. Wymusza to odstąpienie od przyjętych wcześniej zasad płukania filtrów na



Rys.1. Schemat oczyszczania wód popłucznych oraz unieszkodliwiania osadów pokoagulacyjnych w SUW w Goczałkowicach (1 – pulsatory wód popłucznych, 2 – komory zagęszczania osadu pokoagulacyjnego, 3 – poletka osadowe, 4 – wirówki, 5 – składowisko osadu, 6 – pompownia wody nadosadowej, 7 – pompownia osadu zagęszczonego)

Odwadnianie osadu przewidziano na poletkach osadowych znajdujących się nad rzeką Pszczynką. Po zakończeniu eksploatacji poletek lub w przypadku awarii rurociągu dosyłowego przewiduje się możliwość wykorzystania obiektu do odwadniania osadu, w którym znajdują się zbiorniki osadu zagęszczonego oraz wirówki. Przed wirówkami przewidziano dawkowanie roztworu flokulantu. Osad odwodniony transportowany będzie na składowisko, a odciek z wirowek będzie kierowany do zbiornika, a następnie do pulsatorów wód popłucznych.

Dr inż. G.Koźmiński, dr hab.inż. K.Kuś, prof.nadzw.: Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, ul. S.Konarskiego 18, 44-100 Gliwice

korzyść płukania – w miarę możliwości – poza godzinami szczytu energetycznego. Nie bez znaczenia jest również fakt zastosowania w układzie elektrycznym olejowych wyłączników pomp, których żywotność jest uzależniona od liczby operacji włączenie/wyłączenie. Zatem jednokrotne włączenie pompy i płukanie większej liczby złóż w systemie blokowym jest korzystniejsze od każdorazowego włączenia pompy dla określonego złoża, gdyż powoduje wydłużenie czasu eksploatacji wyłącznika. Również w takim przypadku następuje ograniczenie wymian oleju w wyłączniku. Biorąc to pod uwagę należy stwierdzić, że blokowy system płukania złóż filtracyjnych jest wymuszony przyczynami energetycznymi, związanymi z koniecznością poboru energii ele-

ktrycznej w godzinach pozaszczytowych i wydłużeniem czasu eksploatacji wyłączników pomp. Sposób ten zakłada płukanie kolejnych złóż filtracyjnych w sposób blokowy bez przerw technologicznych. Oznacza to, że nastąpiłoby wypłukanie wszystkich przewidzianych złóż jednego ciągu, a po dłuższej przerwie technologicznej – ciągu następnego. Jeśli reżim pracy wymagałby dwukrotnego płukania złoża w ciągu doby, to byłyby one płukane w odstępach 12-godzinnych. Sposób taki pozwoliłby na dopasowanie przerw technologicznych do szczytowych godzin poboru energii elektrycznej. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt wpływu takiego sposobu płukania filtrów na pracę pulsatorów wód popłucznych, które bez zastosowania zbiorników uśredniających w skrajnym przypadku przez prawie 10 godzin nie byłyby zasilane wodami popłucznymi. Zbiorcze dane dotyczące płukania filtrów zawiera tabela 1.

Badania modelowe

Badania uzupełniające przeprowadzono w charakterystycznych porach roku na modelu pulsatora, którego opis został zamieszczony w pracy [1], według następujących zasad:

– najniekorzystniejszym przypadkiem pracy urządzenia (uwzględniającym maksymalny czas dopływu wody oraz jego braku) było jego zasilanie przez okres 10 godz. z przerwą 10 godz.,

– badania przeprowadzono w zakresie dawek siarczanu glinu 20÷50 $gAl_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O/m^3$ (co 5 g/m^3) i w zakresie prędkości wznoszenia 0,5÷0,9 mm/s (co 0,1 mm/s),

– przez cały okres badań zachowano ten sam cykl pracy komory próżniowej wynoszący 30 s (ssanie) i 5 s (zrzut); cykl ten był zgodny z parametrami pracy pulsatorów wody surowej na stacji, utrzymując pracę modelu wg tzw. charakterystyki falującej,

– założoną prędkość wznoszenia uzyskiwano pośrednio poprzez utrzymywanie obliczonego wcześniej stałego natężenia przepływu; w celu wyeliminowania błędów grubych przed przystąpieniem do badań rotametr wyskalowano, a cały układ hydrauliczny odpowietrzono,

– natężenie przepływu roztworu siarczanu glinu ustalono przy pomocy przeliczeń uwzględniających ilość przepływających wód popłucznych i dawkę koagulantu; roztwór dawkowano pompką dozującą, której wydajność regulowano wielkością przesuwu nurnika,

– w ciągu każdego 10-godzinnego okresu dopływu wód popłucznych do modelu pulsatora pobierano następujące próbki wody: na dopływie – na początku okresu badawczego oraz na odpływie – co 1 h (razem 11 prób); w pobranych próbkach oznaczano, tak jak w przypadku badań laboratoryjnych, barwę pozorną, mętność, pH, zasadowość, utlenialność i zawartość glinu. Dodatkowo co 1 godz. pobierano z króćca umieszczonego na wysokości 1,5 m próbki osadu zawieszonego, w których oznaczano jego stężenie,

– przed przystąpieniem do właściwych badań dokonano wpracowania pulsatora wytwarzając przez pierwsze 3 doby warstwę osadu zawieszonego do wysokości krawędzi komory zagęszczania osadu, tj. do 1,80 m; w tym czasie próbki wody nie były pobierane, a model pracował w sposób ciągły,

– w czasie przerwy w dopływie wody, celem niedopuszczenia do zagęszczenia się osadu zawieszonego, pozostawiono włączoną pulsację.

Dodatkowo dla uzyskania danych do analizy ekonomicznej, która miała na celu określenie opłacalności przyjętych rozwiązań, wykonano badania w warunkach ciągłego dopływu wody do urządzenia. Na wstępie obliczono prędkości wznoszenia wody w pulsatorze dla dwóch różnych wariantów zasilania urządzenia:

– wariantu pierwszego, odzwierciedlającego rzeczywiste warunki płukania złóż,

– wariantu drugiego, zakładającego ciągłe zasilanie pulsatorów bez jakichkolwiek przerw (z zachowaniem blokowego płukania złóż); sposób taki wymagałby zastosowania zbiorników wyrównujących odpływ z filtrów z dopływem do pulsatorów.

Prędkość wznoszenia wody obliczono dla założonej wcześniej częstotliwości płukania złóż przyjmując, że płukanie filtrów ciągu Gocza-I odbywa się z intensywnością 14,5 dm^3/m^2s, a ciągu Gocza-II – 20,0 dm^3/m^2s, przy czym zasilane mogą być 1, 2 lub 3 pulsatory o powierzchni 1.047 m^2 każdy. Prędkości zróżnicowano w zależności od przyjętego wariantu zasilania pulsatorów. Dalszy ciąg badań miał na celu określenie optymalnej dawki koagulantu dla każdej z obliczonych prędkości obu wariantów zasilania. Jednak przeprowadzenie całego zamierzonego zakresu badań okazało się niemożliwe, ze względu na fakt zmniejszenia się warstwy osadu zawieszonego (jego zagęszczania), przy prędkościach wznoszenia poniżej 0,4 mm/s w czasie 3÷4 dób. W związku z tym możliwe było jedynie przebadanie przypadków odzwierciedlających zasilanie pierwszego pulsatora wodami popłucznymi z ciągu Gocza-I oraz pierwszego lub obu pulsatorów z ciągu Gocza-II (dla wariantu pierwszego), a także zasilania pierwszego pulsatora, gdy filtry ciągu Gocza-II będą płukane dwa razy w ciągu doby (dla wariantu drugiego). Ustalenia optymalnej dawki koagulantu dokonywano w okresach jednodobowych, pobierając próbki wody po pulsatorze co 2 godz. Jakość doprowadzanej wody odpowiadała średniej jakości wody doprowadzanej do modelu podczas badań nad płukaniem blokowym. W odpro-

Tabela 1. Zestawienie parametrów płukania filtrów

Częstotliwość płukania filtrów d^{-1}		Płukanie systematyczne			Płukanie blokowe			
		Czas płukania, min.		Przerwa technol., min	Czas płukania i czas przerwy technologicznej, min.			
Gocza-I	Gocza-II	Gocza-I	Gocza-II		Płukanie	Przerwa	Płukanie	Przerwa
0,5	0,5	8	9	36	96	582	180	582
0,5	1	8	9	19	96	492	360	492
0,5	2	8	9	7	456	352	360	312
1	0,5	8	9	24	192	534	180	534
1	1	8	9	14	192	444	360	444
1	2	8	9	5	552	264	360	264
2	0,5	8	9	20	372	438	192	438
2	1	8	9	8	552	348	192	348
2	2	8	9	3	552	168	552	168

wadzanych wodach popłucznych oraz w pobranych próbkach wykonywano opisane wcześniej oznaczenia.

Wyniki badań modelowych

Analiza przebiegu procesu oczyszczania wód popłucznych, przy nieciągłym zasilaniu urządzenia modelowego, pozwala na sformułowanie następujących uogólnień:

– oczyszczanie wód popłucznych w modelu pulsatora przy dawkowaniu siarczanu glinu powoduje obniżenie wartości wszystkich oznaczanych parametrów składu popłuczyn,

– barwa pozorna oraz mętność odpływu niejednokrotnie przekraczała założone wcześniej wartości, tj. 20 gPt/m^3 i 5 g/m^3, szczególnie w przypadkach, gdy do oczyszczania wód o bardzo złej jakości zastosowano małą dawkę koagulantu lub przyjęto za dużą prędkość wznoszenia wody,

– pH wody po pulsatorze obniżało się nieznacznie mieszcząc się jednak w przedziale 6,5÷8,5,

– znaczne obniżenie utlenialności (o ok. 60 %) i zasadowości wody świadczy o prawidłowym przebiegu procesu oczyszczania,

– zawartość glinu w wodzie po pulsatorze nie przekraczała stężenia 0,3 gAl/m^3,

Wyniki badań przeprowadzonych w warunkach ciągłego zasilania modelu pulsatora, zarówno dla wariantu pierwszego jak i drugiego, pozwoliły na ustalenie optymalnych dawek siarczanu glinu przy porównywalnej – w stosunku do nieciągłego zasilania urządzenia – jakości wody oczyszczonej. Dla każdego z rozpatrywanych przypadków barwa pozorna wody nie przekraczała 20 gPt/m^3, mętność 5 g/m^3, zasadowość i utlenialność ulegały obniżeniu odpowiednio do 0,8÷0,9 val/m^3 i 3,3÷3,5 gO_2/m^3, a wartości pH i stężenia glinu w wodzie były podobne jak poprzednio.

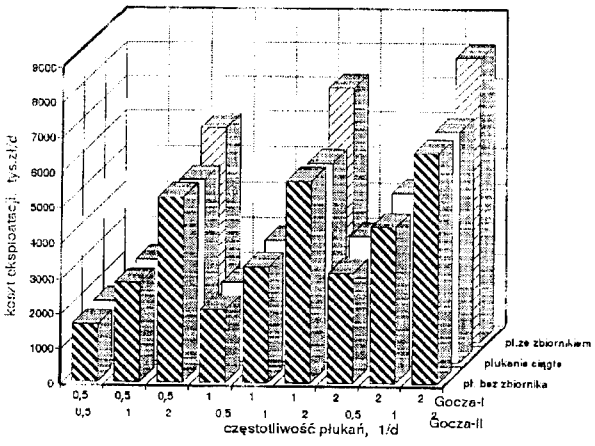
Możliwości praktycznego wykorzystania wyników badań

Wnioski wynikające z matematycznego opracowania wyników badań pozwalają na nieciągłe zasilanie jednego lub dwóch pulsatorów do oczyszczania wód popłucznych w przypadku blokowego płukania złóż filtracyjnych, przy czym dawka koagulantu będzie zależała od żądanych parametrów wody oczyszczonej, parametrów wód popłucznych oraz parametrów procesu. Innym sposobem eksploatacji pulsatorów przy blokowym płukaniu złóż filtracyjnych może być ich ciągłe zasilanie, co jednak wymagałoby zastosowania zbiornika uśredniającego (wariant drugi). Taki sposób płukania filtrów zagwarantuje realizację nakładanego przez zakład energetyczny ograniczenia poboru mocy w godzinach szczytowych. W przypadku zniesienia przez zakład energetyczny tego ograniczenia, zamiast płukania blokowego można byłoby prowadzić płukanie złóż w sposób systematyczny, doprowadzając wodę do urządzenia przez cały czas płukania z koniecznymi przerwami technologicznymi (wariant pierwszy). Przeprowadzone obliczenia i badania wykazały, że w przypadku zastosowania wariantu pierwszego można zasilać tylko jeden pulsator, gdy płukane będą filtry ciągu Gocza-I lub jeden czy też dwa pulsatory, w przypadku ciągu Gocza-II. Chcąc z kolei zastosować wariant drugi, zasilać jeden pulsator będzie można wówczas, gdy płukane będą dwukrotnie filtry ciągu Gocza-II. Gdy warunek ten nie byłby spełniony, należałoby oczyszczanie wód popłucznych realizować według wariantu pierwszego. Realizacja wariantu drugiego wymagałaby jednak zastosowania dodatkowego zbiornika uśredniającego. Ze względu na możliwość pracy tylko jednego pulsatora, pozostałe dwa mogłyby pełnić rolę zbiorników lub jeden z nich stanowiłby pulsator rezerwowy.

Analiza ekonomiczna

Przeprowadzona analiza ekonomiczna miała na celu określenie wzajemnych relacji cenowych pomiędzy różnymi rozwiązaniami problemu oczyszczania wód popłucznych oraz wybór metody najekonomiczniejszej. W przypadku ograniczeń w poborze mocy jedynym sposobem płukania złóż jest sposób blokowy. Celem określenia kosztów oczyszczania wód popłucznych, przy ich nieciągłym dopływie do pulsatora, ustalono dawki siarczanu glinu dla wód o średniej jakości, przyjmując zawyżone na tym etapie kryterium zakładające barwę pozorną oraz mętność nie przekraczającą odpowiednio 20 gPt/m^3 i 5 g/m^3. Przy obliczaniu dawek uwzględniono różną częstotliwość płukania złóż poszczególnych ciągów technologicznych i możliwość wykorzystania jednego lub dwóch pulsatorów. Określone dla przyjętych parametrów wody oczyszczonej dawki zaokrąglono do 5 g/m^3 w górę (stopniowanie dawek co 5 g/m^3 jest zgodne ze sposobem eksploatacji pulsatorów wody surowej na stacji). Dodatkowo określono dobową ilość wód popłucznych, co pozwoliło z kolei na określenie dobowego zużycia koagulantu, którego koszt obliczono według poziomu cen z IV kwartału 1994. Według tego samego poziomu cen wyznaczono koszt zużycia energii elektrycznej, przy uwzględnieniu rzeczywistej mocy pomp wody do płukania wynoszącej 250 kW dla ciągu Gocza-I i 400 kW dla ciągu Gocza-II. Dodatkowo uwzględniono dobowy rozkład szczytowych i pozaszczytowych godzin poboru mocy w ciągu całego roku. Zsumowane koszty koagulantu oraz energii elektrycznej stanowią w tym przypadku materiał porównawczy. Nie uwzględniono tutaj kosztów zatrudnienia pracowników oraz kosztów inwestycyjnych i remontów bieżących przyjmując, że niezależnie od sposobu pracy pulsatorów będą one stałe. Podobnych obliczeń dokonano dla przypadku ciągłego zasilania pulsatorów bez zastosowania zbiorników uśredniających.

W przypadku zastosowania zbiornika uśredniającego konieczne okazało się ustalenie jego pojemności. Przyjęto, że dla najbardziej niekorzystnego przypadku woda z płukania blokowego wszystkich złóż dwukrotnie w ciągu doby doprowadzana byłaby w ciągu 9,2 godz., a oczyszczana w ciągu 12 godz. Dla całkowitej dobowej ilości wody popłucznej wynoszącej 56.982 m^3 niezbędna pojemność zbiornika wyniosłaby 6.648 m^3. Ponieważ (zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami) zbiornik uśredniający może być zastosowany tylko w przypadku pracy jednego pulsatora, proponuje się wykorzystanie pozostałych dwóch pulsatorów do uśredniania przepływu. Przy przyjęciu pola powierzchni każdego z nich równego 1.047 m^2 i napełnieniu 5,50 m ich łączna pojemność wyniesie 11.517 m^3, co w pełni pokrywa założone potrzeby. Niemniej jednak w takim przypadku, ze względu na jednakowe wysokościowe usytuowanie pulsatorów, konieczne byłoby zamontowanie w budynku pulsatorów wód popłucznych pomp tłoczących zgromadzoną w zbiornikach wodę do pracującego pulsatora. Zainstalowana pompa powinna mieć wydajność co najmniej 0,66 m^3/s (1.047 m^2·0,63 mm/s) oraz wysokość podnoszenia uwzględniającą straty hydrauliczne na przepływie. Koszt zainstalowania 1+1 pompy wraz z oprzyrządowaniem wyniósłby około 500 mln st.zł, co przy przyjęciu czasu realizacji inwestycji 0,5 roku, okresu amortyzacji – 10 lat, kosztów remontów bieżących – 2,2 % oraz wysokości stopy procentowej – 0,30, obciążyłoby koszty eksploatacji pulsatorów na kwotę 650 tys. st.zł/d.



Rys. 2. Porównanie dobowych kosztów minimalnych dla różnych sposobów płukania złóż filtracyjnych

Ponadto pompa o mocy silnika 10 kW, przy dwukrotnym płukaniu złóż ciągu Gocza-II, zużyłaby energię elektryczną o wartości 110 tys. st.zł/d.

Analizując wyniki obliczeń można stwierdzić, że zastosowanie zbiornika uśredniającego jest nieopłacalne ze względu na znaczny wzrost (od 14,54 do 25,24 %) kosztów oczyszczania wody. Ponadto sposób ten byłby możliwy do przyjęcia tylko w przypadku dwukrotnego płukania złóż filtracyjnych ciągu Gocza-II w ciągu doby. Należy ponadto nadmienić, że nawet gdyby liczba płukań była mniejsza, to stały koszt wynoszący 650 tys. st.zł/d i tak byłby ponoszony przez użytkownika. Z pozostałych dwóch wariantów eksploatacji pulsatorów zasilanie ciągłe urządzenia jest w chwili obecnej tańsze w przypadku dwukrotnego płukania złóż filtracyjnych ciągu Gocza-II i maksymalnie jednokrotnego płukania złóż ciągu Gocza-I, tj. w dwóch na dziewięć rozpatrywanych przypadków. Różnica w kosztach nie jest jednak duża, gdyż wynosi maksymalnie 108 tys. st.zł/d, co stanowi 2,05% kosztów całkowitych. Na rysunku 2 zestawiono zbiorcze dane dotyczące kosztów minimalnych dla przyjętych wariantów pracy układu filtry pospieszne–pulsator.

Wnioski

♦ Wykazano możliwość zastosowania pulsatorów do oczyszczania wód popłucznych z blokowego płukania filtrów pospiesznych na stacji uzdatniania wody w Goczałkowicach, bez budowy zbiorników uśredniających, przy nieciągłym dopływie popłuczyn.

♦ Wody popłuczne można oczyścić przy użyciu siarczanu glinu (bez żadnych środków wspomagających) stosując dawki od 25 do 50 g/m^3, zachowując prędkość wznoszenia wody w strefie klarowania pulsatora w granicach 0,5÷0,9 mm/s oraz czas zatrzymania w granicach 1,23÷2,23 h.

♦ Z możliwych wariantów płukania filtrów, tj. płukanie blokowe bez zbiornika uśredniającego, blokowe ze zbiornikiem oraz płukanie systematyczne, najekonomiczniejsze okazało się płukanie blokowe bez zastosowania zbiornika uśredniającego – z nieciągłym zasilaniem pulsatora.

♦ Do oczyszczania wód popłucznych w systemie nieciągłego zasilania urządzeń należy wykorzystywać dwa pulsatory. Zastosowanie trzech urządzeń jest obecnie niewskazane, ze względu na występującą wówczas zbyt małą prędkość wznoszenia wody.

♦ Wdrożenie systemu oczyszczania wód popłucznych pozwoli na bardziej racjonalną gospodarkę wodą w stacji uzdatniania, poprzez ewentualność zawracania oczyszczonych wód do głównego obiegu technologicznego.

♦ Zakres pracy pulsatora modelowego, wielkości dawek koagulantu, a także uzyskane efekty, wymagają weryfikacji w skali technicznej, gdzie z reguły występuje większa nierównomierność rozdziału wody w przekroju poprzecznym urządzenia w stosunku do modelu, co powoduje pogorszenie efektów oczyszczania lub też potrzebę korekty parametrów hydraulicznych pulsatora.

LITERATURA

1. K. KUŚ, G. KOŹMIŃSKI: Zastosowanie pulsatorów do oczyszczania popłuczyn. Ochrona Środowiska, 1993, nr 4(51), ss.65-67.

Operation of Backwash Water Pulsators at the Treatment Plant of Goczałkowice: Technological and Economic Considerations

Making use of the results from model investigations, a new solution to the problem of backwash-water pulsator operation was proposed. Analyzed were the following items: treatment of backwash water, technical conditions of rapid filter backwash (for the two technological trains applied at the Water Treatment Plant of Goczałkowice), and energy demand for the backwash process. On this basis, a block method for the process and a non-continuous water supply to the pulsators were proposed. Economic considerations were carried out to verify the worthwhileness of the solution proposed.