

Marcin Kłos, Jacek Tokarczyk

Możliwości modernizacji koagulacji i filtracji w układach oczyszczania wód powierzchniowych

Mętność wody jest wskaźnikiem, który pozwala na szybką i obiektywną ocenę klarowności wody w oparciu o pomiar ilości światła rozpraszanego przez próbkę. Przeprowadzone w ostatnich latach nowelizacje przepisów normujących jakość wody do picia – oprócz obniżenia najniższych dopuszczalnych stężeń wielu zanieczyszczeń specyficznych – zastrzyła także wymagania w stosunku do wskaźników podstawowych, w tym mętności wody. Znaczenie tego wskaźnika w ocenie jakości wody jest bardzo duże. Zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) wskazują na pomiar mętności jako wskaźnik bieżącej kontroli skuteczności procesu filtracji. Mętność wody po filtrach nie może przekraczać 1 NTU. Taka wartość może zapewnić również wysoki stopień (99,9%) usunięcia bakterii i wirusów, nie pozwala jednak na eliminację z wody oocyst *Cryptosporidium* i sporów *Clostridium*. W tym wypadku mętność wody po filtrach powinna być jeszcze niższa, tj. $0,3+0,5$ NTU. Dla typowego zakładu oczyszczania wody skuteczność usuwania tych organizmów wynosi $1,3+4,3$ log (śr. 2log, tj. 99%) [1,2].

Analiza pracy wielu stacji oczyszczania wody wykazała, że zaostrenie przepisów dotyczących jakości wody do picia spowodowało problemy z uzyskaniem wody o wymaganej jakości. Znaczna część tych obiektów nie ma kłopotów z zawartością specyficznych mikrozanieczyszczeń, ale z przekroczeniami dopuszczalnych wartości podstawowych wskaźników jakości wody, takich jak smak, zapach, mętność, zawartość pozostałego koagulantu oraz zapotrzebowanie wody na środki dezynfekcyjne. Bardzo często towarzyszą im przekroczenia wskaźników mikrobiologicznych.

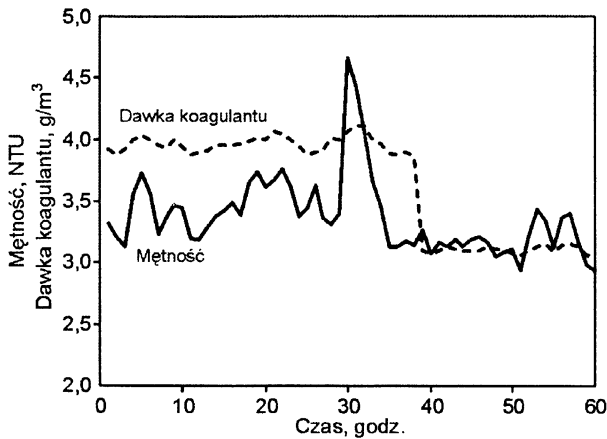
Biorąc pod uwagę ograniczone możliwości finansowe i techniczne przedsiębiorstw wodociągowych, spośród dwóch kierunków działań, tj. budowa nowych układów oraz modernizacja istniejących, jako rozwiązanie bardziej realne częściej wybierany jest ten drugi. Zakres prac uzależniony jest od konkretnych problemów występujących w stacji oczyszczania wody i powinien zostać określony indywidualnie dla konkretnego przypadku. Bardzo często okazuje się, że analiza pracy układów oczyszczania wody wskazuje na konieczność poprawy skuteczności działania koagulacji, zarówno w zakresie dawkowania reagentów, jak i separacji zawieszin pokoagulacyjnych.

W niniejszym artykule przedstawiono możliwości modernizacji układów do koagulacji w zakresie kontroli i sterowania dawkowaniem koagulantów oraz unowocześnienia konstrukcji typowych filtrów pospiesznych i kontaktowych, przy zastosowaniu drenaży blokowych.

Modernizacja układu dawkowania koagulantu

Dla zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu koagulacji decydujące znaczenie ma możliwość stałego prowadzenia tego procesu z zastosowaniem dawki optymalnej koagulantu. Dawka taka pozwala na uzyskanie wymaganych, wysokich efektów usuwania zanieczyszczeń przy racjonalnym zużyciu reagenta oraz zapewnia prawidłowy przebiegu poszczególnych procesów jednostkowych. Obowiązujące w większości stacji oczyszczania wody procedury doboru dawek reagentów metodą testów naczyniowych z reguły pozwalają na uzyskanie prawidłowych wyników. Jednak w wypadku, gdy ujmowane wody charakteryzują się dużą zmiennością jakości, ograniczenia tej metody powodują, że uzyskana informacja o wymaganych dawkach reagentów jest na ogół spóźniona. Stosowanie zaś niewłaściwych dawek koagulantu i środków wspomagających koagulację jest powodem wielu problemów, począwszy od spadku efektywności usuwania zanieczyszczeń, aż po pojawienie się w oczyszczonej wodzie nadmiernej ilości pozostałego koagulantu, wzrostu mętności, czy też skrócenie długości cykli filtracyjnych, powodujących zwiększone zużycie wody do płukania złóż filtracyjnych i konieczność przeróbki zwiększonej ilości osadów pokoagulacyjnych.

Poprawa skuteczności działania układu do koagulacji wymaga zastosowania systemu mającego możliwość kontroli i sterowania dawkami reagentów w czasie rzeczywistym oraz poprawy warunków prowadzenia procesu szybkiego i wolnego mieszania. Spośród wielu istniejących na rynku i sprawdzonych w praktyce wodociągowej metod najbardziej zaawansowaną technicznie i technologicznie jest wykorzystanie analizatora prądu strumieniowego (Stream Current Analyzer – SCA). Przyrząd ten pozwala na ciągłą analizę stanu elektrokinetycznego cząstek zawieszin obecnych w wodzie. Metoda jego działania opiera się na pomiarze stabilności cząstek w oparciu o pomiar ich ładunku powierzchniowego, związanego z potencjałem elektrokinetycznym dzeta (ζ). Urządzenie to mierzy efekt działania dodawanego do wody koagulantu na zanieczyszczenia oraz pozwala na kontrolę i utrzymywanie dawki koagulantu na poziomie wartości optymalnej, którą określa się doświadczalnie w czasie rozruchu i kalibracji urządzenia. Utrzymanie odpowiednich dawek koagulantu pozwala nie tylko na racjonalizację jego zużycia, ale wpływa także na poprawę jakości wody. Bardzo dobrym wskaźnikiem oceny efektów oczyszczania wody jest zapotrzebowanie wody na środek dezynfekcyjny. Na rysunku 1 przedstawiono różnice w zużyciu koagulantu w wypadku pracy układu koagulacji z włączonym i wyłączonym systemem SCA. Przed włączeniem analizatora prądu strumieniowego koagulant dawkowany był w oparciu o pomiar mętności wody wg zależności określonej podczas testów naczyniowych.



Rys. 1. Wpływ pracy układu SCA na zużycie koagulantu (FLOKOR 1 ASW)

Z przebiegu zależności widać, że zastosowanie SCA pozwoliło w tym konkretnym przypadku na 20÷25% zmniejszenie zużycia koagulantu, przy takich samych efektach oczyszczania.

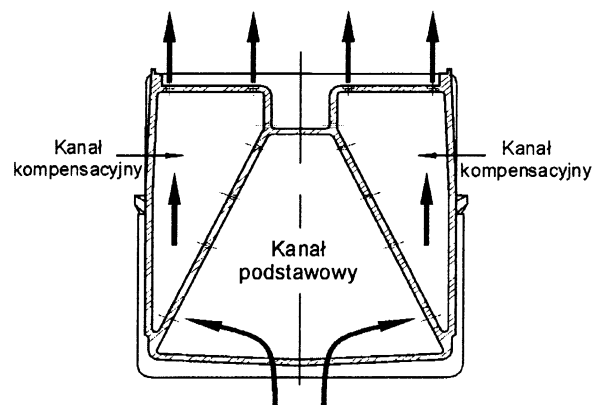
Modernizacja filtrów pospiesznych

Konieczność zapewnienia wody o bardzo niskiej mętności spowodowała, że wiele z układów filtracji pospiesznej wymaga unowocześnień. Do zmniejszenia mętności wody prze-filtrowanej do wymaganego poziomu w większości wypadków wystarczy zmniejszenie średnicy efektywnej złożeń filtracyjnych. Jednak w rzeczywistości rozwiązanie tego problemu nie jest tak proste. Zastosowanie złożeń o mniejszej średnicy efektywnej ziaren jest źródłem nowych problemów eksploatacyjnych, jak np. skrócenie długości cyklu filtracyjnego oraz wzrost podatności złożeń na tzw. przebicie. Aby przeciwdziałać tym niekorzystnym zjawiskom, zmniejszeniu średnicy efektywnej ziaren złożeń filtracyjnych powinna towarzyszyć zmiana rodzaju złożeń, która pozwoli na zwiększenie pojemności złoża na zawiesziny. Można to uzyskać poprzez zastąpienie piaskowych złożeń filtracyjnych złożami dwuwarstwowymi, np. antracytowo-piaskowymi. Wprowadzenie warstwy antracytu pozwala nie tylko na zwiększenie zdolności złoża do akumulacji zawieszin, ale daje także nowe możliwości technologiczne. Pozwala na prowadzenie efektywnej, zarówno technologicznie jak i ekonomicznie, koagulacji powierzchniowej w złożu, który to proces wymaga z reguły stosowania filtrów kontaktowych o konstrukcji odmiennej od typowych filtrów pospiesznych. Dzięki temu w wielu wypadkach przy oczyszczaniu wód o stosunkowo niskiej mętności i znacznej ilości zanieczyszczeń organicznych można poprawić zarówno skuteczność jak i ekonomię procesu. Jednak sama wymiana złoża filtracyjnego nie zawsze poprawia skuteczność pracy filtru. Do uzyskania znaczącego wzrostu efektywności procesu oczyszczania wody konieczne jest często zwiększenie wysokości warstwy filtracyjnej. Jest to szczególnie ważne w układzie usuwania związków żelaza i manganu w procesie filtracji jednostopniowej, gdzie wydłużenie czasu kontaktu wody ze złożem pozwala na wpracowanie dolnych warstw złoża do katalitycznego usuwania manganu [3].

Drugim problemem, jaki należy rozwiązać podczas modernizacji układu filtracji jest zagadnienie płukania złożeń. Wpływa ono nie tylko na sprawność technologiczną i techniczną filtrów, ale decyduje także w dużym stopniu o kosztach procesu oczyszczania wody, związanych ze zużyciem wody płukającej i koniecznością oczyszczania wód popłucznych.

Prawidłowe działanie filtrów wymaga bardzo starannego płukania złożeń filtracyjnych, co może zapewnić praktycznie jedynie płukanie powietrzno-wodne. Znaczna część filtrów pospiesznych wyposażona jest w drenaże grzybkowe z dyszami z tworzywa sztucznego. System ten jest znanym i sprawdzonym rozwiązaniem. Jednakże w wypadku modernizacji filtrów, związanej z koniecznością wymiany złożeń filtracyjnych, jego przydatność jest ograniczona. Konstrukcja podwójnego dna (przestrzeni poddennej) oraz ograniczona gęstość rozmieszczenia dysz filtracyjnych powoduje, że drenaże grzybkowe nie dają możliwości zwiększenia wysokości złoża filtracyjnego i nie zapewniają wymaganej równomierności rozdziału wody i powietrza podczas płukania. Dodatkowo duża prędkość wylotowa wody ze szczelin dysz filtracyjnych powoduje tzw. efekt odrzutowy, który nie zapewnia odpowiednich warunków hydraulicznych płukania. Skutkiem tego jest mieszanie się ze sobą poszczególnych rodzajów złożeń filtracyjnych, co powoduje znaczne zmniejszenie zdolności filtrów do zatrzymywania zawieszin oraz skraca długość cyklu filtracyjnego.

Alternatywą dla drenaży z dyszami filtracyjnymi mogą być blokowe drenaże niskoprofilowe, składające się z kanałów wykonanych z połączonych bloków z tworzywa sztucznego. Na górnej powierzchni bloku umieszczone są otwory o średnicy 5÷6 mm, którymi rozprowadzane są woda i powietrze. Gęstość rozmieszczenia otworów (ok. 300/m²) powoduje, że w złożu nie ma martwych stref, które nie są płukane, a otwory o znacznie większych rozmiarach niż szczeliny dysz powodują, że prędkość wyptywającej wody nie wywołuje efektu odrzutowego, mieszającą ze sobą różne frakcje złoża filtracyjnego. Konstrukcja bloków została tak zoptymalizowana, aby przy minimalnej wysokości drenażu uzyskać jak największą równomierność rozdziału wody i powietrza. W zależności od rozmiarów i konstrukcji komory filtracyjnej występująca maksymalna nierównomierność rozdziału wody bądź powietrza nie przekracza 3% dla dużych filtrów o wymiarach rzędu 20÷25 m. Dla mniejszych komór, częściej spotykanych w zakładach wodociągowych, nierównomierność rozdziału nie przekracza 1%. Tak dużą sprawność rozdziału wody i powietrza osiągnięto dzięki zastosowaniu systemu podwójnych kanałów w drenażu blokowym (rys. 2). Każdy z bloków składa się z kanału podstawowego oraz dwóch kanałów kompensacyjnych, których zadaniem jest stabilizacja ciśnienia dynamicznego w drenażu, które zmienia się wskutek zmiany prędkości wody w profilu kanału. Dzięki temu w każdym otworze na powierzchni drenażu występuje zbliżone ciśnienie, co w efekcie zapewnia taki sam wydatek poszczególnych otworów, zarówno w przypadku płukania powietrzem jak i wodą.



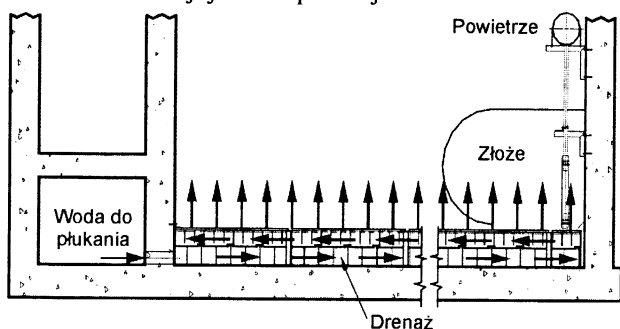
Rys. 2. System podwójnych kanałów w drenażu blokowym typu SELOP

Stosując drenaże blokowe, oprócz tradycyjnego sposobu płukania sekwencyjnego (najpierw powietrze, potem woda z docelową, maksymalną intensywnością), w wypadku złóż piaskowych i antrycytowo-piaskowych można stosować tzw. płukanie jednoczesne (pulsacyjne). Sekwencja takiego płukania jest następująca: 2+3 min płukania powietrzem z intensywnością $50+75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, jednoczesne płukanie powietrzem z taką samą intensywnością i wodą z intensywnością $12+20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ przez 4+5 min lub do momentu osiągnięcia dolnej krawędzi koryt oraz płukanie wodą z docelową maksymalną intensywnością, zależną od wymaganej ekspansji złoża. Czas płukania uzależniony jest od jakości popłuczyn, ale w większości wypadków w końcowym etapie płukania woda zużywana jest w ilości 3+5 objętości złoża. Płukanie jednoczesne znacznie zmniejsza zapotrzebowania na wodę oraz ilość powstających popłuczyn. Przykładowo, dla założonego 12-minutowego czasu płukania zastosowanie płukania pulsacyjnego pozwala na obniżenie zużycia wody o prawie 60% – w porównaniu z płukaniem samą wodą i około 30% – w porównaniu z sekwencyjnym płukaniem powietrzem i wodą.

Podstawową zaletą stosowania tego typu drenaży, w porównaniu z innymi rozwiązaniami, jest bardzo duża elastyczność, która umożliwia dostosowanie się prawie do każdej konstrukcji komory filtracyjnej. Dokładne rozwiązania uzależnione są od dostawcy drenażu i modernizowanego obiektu. Jeden z dostawców tego typu drenaży, firma F. B. Leopold, proponuje cztery podstawowe rozwiązania konstrukcyjne, które można stosować zarówno do modernizowanych komór filtracyjnych, jak i nowobudowanych:

- kanał czołowy,
- kanał centralny,
- kanał w kształcie litery H
- kanał dwusekcyjny.

Każde z tych rozwiązań pozwala osiągnąć pewne cele modernizacji filtrów. W wypadku dużych komór filtracyjnych, gdzie problemy z równomiernością rozdziału powietrza i wody w czasie płukania są szczególnie widoczne, bardzo dobrze sprawdza się rozwiązanie z kanałem centralnym, pozwalające na uzyskanie wysokiej równomierności rozdziału wody i powietrza nawet w komorach o szerokości do 28 m. Bardzo ciekawym rozwiązaniem drenaży blokowych jest kanał typu H (rys. 3), stosowany wówczas, gdy celem modernizacji jest zwiększenie wysokości złoża filtracyjnego. Do takiej sytuacji dochodzi bardzo często w wypadku filtrów ze złożem węglowym, gdy zachodzi konieczność zwiększenia czasu kontaktu wody z sorbentem, jak i pospiesznych, szczególnie w procesach usuwania związków żelaza i manganu w układach filtracji jednostopniowej.



Rys. 3. Rozwiązanie konstrukcyjne drenażu typu SELOP (F. B. Leopold) z kanałem H i zewnętrznym doprowadzeniem powietrza

Znaczne zwiększenie wysokości złóż filtracyjnych podczas zmiany drenażu grzybkowego na blokowy z konstrukcją kanału typu H jest możliwe nie tylko dzięki wykorzystaniu przestrzeni podwójnego dna, ale także dzięki temu, że drenaże blokowe mogą być wyposażone w zintegrowane nakładki, zastępujące warstwę podtrzymującą. Dzięki temu wysokość, którą należałoby przeznaczyć na warstwę żwiru i grubego piasku można wykorzystać na złożo filtracyjne. W rozwiązaniach typowych jako nakładka wykorzystywana jest warstwa z tworzywa sztucznego modyfikowanego w taki sposób, aby otrzymać materiał o wymaganych rozmiarach porów. Odpowiednia porowatość zapewnia małe opory hydrauliczne podczas filtracji i płukania złoża, zmniejsza ryzyko kolmatacji nakładki oraz stanowi barierę w pełni oddzielającą złożo od wnętrza bloków drenażu. Oprócz nakładek z tworzywa sztucznego, możliwy jest również montaż systemu wykonanego ze stali kwasoodpornej. Konstrukcja tych nakładek wywodzi się z technologii mikrosit (drenaż SELOP). Ich budowa pozwala na eksploatację w okresie liczącym w dekady, bez obawy przed zmianą właściwości hydraulicznych drenażu, a rodzaj zastosowanego materiału zapewnia, że nie nastąpi zmiana jakości wody spowodowana starzeniem się materiału. Przykładem zastosowania tego rozwiązania jest propozycja przebudowy komór w stacji oczyszczania wody „Rudawa” w Krakowie, gdzie zastosowanie drenażu blokowego typu SELOP, w miejsce drenażu grzybkowego, pozwoliło na wydłużenie czasu kontaktu wody z sorbentem o 40%.

Innym ważnym czynnikiem przemawiającym za stosowaniem drenaży blokowych w filtrach z węglem aktywnym jest utrzymanie odpowiedniego stanu biofilmu, gdy sorbent pracuje jako węgiel biologicznie aktywny. Bardzo częstym problemem technologicznym w tego typu układach jest okresowe pojawianie się nadmiernych ilości bakterii w filtracie. Okresowe płukanie złóż węgla jest potrzebne do utrzymywania odpowiednich właściwości mechanicznych biofilmu oraz w celu zapobieżenia rozwojowi mikroorganizmów protozoologicznych. Pomaga także kontrolować zmiany ciśnienia filtracyjnego i usuwać ze złoża cząstki zawiesin mineralnych, które mogą inhibować rozwój mikroorganizmów oraz ograniczać czas kontaktu wody ze złożem.

Płukanie powinno zapewnić także odpowiednią kontrolę rozwoju biofilmu. Jednak to zadanie w systemach filtracyjnych, gdzie płukanie odbywa się samą wodą, jest praktycznie niewykonalne. Dopiero wprowadzenie płukania wodą zawierającą chlor pozwala na kontrolę rozwoju biofilmu [4,5]. Jednak bardzo często stosowanie do płukania wody z chlorem ma ujemny wpływ na przebieg procesów biochemicznych, a w konsekwencji na efektywność usuwania zanieczyszczeń. Dlatego też lepszym rozwiązaniem wydaje się być zastosowanie płukania za pomocą powietrza i wody [6].

Płukanie powietrzem oczyszcza złożo węglowe w o wiele większym stopniu niż sama woda. Jedynym mankamentem może być sygnalizowany w niektórych pracach jego negatywny wpływ na węgiel aktywny. Jednak dotyczy to z reguły węgla aktywnego o niewłaściwej jakości. W wypadku stosowania węgla aktywnego o nieodpowiednich właściwościach mechanicznych może dochodzić do rozdrobnienia i w konsekwencji do znacznych strat złoża w czasie płukania. W wypadku sorbentów o dobrych właściwościach mechanicznych wpływ płukania powietrzem na ich stan jest niewielki [6].

Wnioski

♦ Dla prawidłowej eksploatacji układu koagulacji, niezależniającej skuteczność procesu od zmiennej jakości ujmowanej wody oraz pozwalającym na monitorowanie przebiegu tego procesu w czasie rzeczywistym, najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie układu kontroli i sterowania wykorzystującego analizator prądu strumieniowego (SCA).

♦ O jakości filtratu decyduje zarówno rodzaj złoża filtracyjnego, jak i prawidłowy przebieg procesu filtracji. W celu utrzymania wysokiej sprawności technologicznej, technicznej i ekonomicznej układu filtracji pospiesznej, dobór parametrów eksploatacyjnych tego procesu powinien uwzględniać wymogi dotyczące jakości wody, czasu trwania cykli filtracyjnych oraz kosztów płukania złożów. Drenaże blokowe stanowią bardzo dobre rozwiązanie, pozwalające na uzyskanie wysokiej skuteczności pracy filtrów pospiesznych ze złożami piaskowymi i węglowymi.

♦ Zastosowanie drenaży blokowych w filtrach z granulowanym węglem aktywnym w miejsce drenaży grzybkowych pozwala na znaczące (nawet do 50%) wydłużenie czasu kontaktu wody z węglem. Bardzo ważną zaletą tego rozwiązania jest możliwość płukania złoża powietrzem z dużą intensywnością (nawet do $75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$), przy bardzo wysokiej równomierności jego rozdziału, niemożliwej do osiągnięcia w rozwiązaniach tradycyjnych. Ma to szczególne znaczenie w wypadku, gdy filtry pracują jako złoża biologicznie aktywne.

Pozwala to na efektywne utrzymywanie wymaganej aktywności biofilmu i jest rozwiązaniem znacznie lepszym, niż stosowanie płukania wodą o wysokiej zawartości chloru.

LITERATURA

1. T. BOCHNIA: Nowe mikrobiologiczne aspekty uzdatniania wody. Mat. konf. „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”, Politechnika Śląska, Szczyrk 2003.
2. D. LELAND, J. MCANULTY, W. KEENE, G. STEVENS: A cryptosporidiosis outbreak in a filtered-water supply. *Journal AWWA*, 1993, Vol. 85, No. 6, pp. 34–42.
3. W. SAWINIĄK, M. KŁOS: Modernizacja stacji wodociągowej dla usuwania manganu z wody mieszanej, Mat. konf. „Uzdatnianie wód podziemnych – badania, projektowanie i eksploatacja”, Politechnika Warszawska, Warszawa 1997.
4. P. SERVAIS, G. BILLEN, P. BOUILLOT, M. BENEZET: A pilot study of biological GAC filtration in drinking-water treatment. *Journal Water SRT-Aqua*, 1992, Vol. 41, No. 3, pp. 163–168.
5. R. J. MILTNER, R. S. SUMMERS, J. Z. WANG: Biofiltration performance: Part 2, Effect of backwashing. *Journal AWWA*, 1995, Vol. 87, No. 12, pp. 64–70.
6. B. K. GRENS, C. J. WERTH: Durability of wood-based versus coal-based GAC. *Journal AWWA*, 2001, Vol. 93, No. 4, pp. 175–181.

Kłos, M., Tokarczyk, J. Modernization of Coagulation and Filtration Systems in Surface Water Treatment Plants. *Ochrona Środowiska* 2005, Vol. 27, No. 3, pp. 61–64.

Abstract: To meet the increased demands made on drinking water quality, water treatment plants need to upgrade the performance of the coagulation and filtration systems. This includes not only redesigning or refitting the slow-mix and rapid-mix tanks but also coagulant dose control in order to provide optimum dosage. The most promising solution to this problem is the use of a stream current analyzer. In conventional surface water treatment trains, rapid filters are used to remove suspended solids which persist in the water after sedimentation or flotation. After the rigorous tap water quality criteria (pertaining to turbidity or

the presence of some microorganisms, e.g. *Clostridium*) have been implemented, many rapid filtration systems fail to be efficient. To maintain the turbidity of tap water below 1 NTU, it is necessary to change the grain size distribution and determine the appropriate depth of the filter beds, as well as to have them fitted with an efficient backwash system. Existing nozzle drainages should be replaced with dual parallel lateral underdrains, which offer a promising alternative solution. In the present paper, some methods of modernizing the coagulation system (with respect to coagulant dosage control) and the design of typical rapid filters are proposed.

Keywords: Surface water, water treatment, coagulation, stream current analyzer, filtration, dual parallel lateral underdrains.