

Wysokosprawna koagulacja i filtracja pospieszna jako podstawa systemu „multibariery” w uzdatnianiu wód powierzchniowych

Enhanced coagulation and rapid filtration as the basis of "multi-barrier" system in the surface water treatment

MARCIN KŁOS

Idea systemu „multibariery” pojawiła się w prasie specjalistycznej już kilkanaście lat temu. Zdefiniowana została ona jako zintegrowany system procedur, procesów i narzędzi, które wspólnie mają zapobiegać lub ograniczyć zanieczyszczenie wody przeznaczonej do spożycia w celu zmniejszenia zagrożeń dla zdrowia publicznego, począwszy od źródła aż do punktu czerpalnego u końcowego odbiorcy. Aplikacja tego systemu wymaga nie tylko zmiany podejścia do projektowania i eksploatacji systemów uzdatniania, ale także odpowiednich narzędzi. Potrzebne są one zarówno do zwiększania efektywności działania poszczególnych procesów jednostkowych, jak i do skuteczniejszej kontroli i sterowania nimi. Podstawowym celem stosowania tych narzędzi jest nie tylko zwiększenie elastyczności działania całego układu oraz poprawa jakości wody zarówno w zakresie wymaganym przez przepisy, jak i patrząc przez pryzmat stabilności wody w podsystemie dystrybucji.

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania systemów sterowania procesem koagulacji jako elementu systemu „multibariery” w zakresie zwiększania efektywności procesu koagulacji w usuwaniu związków mogących obniżać stabilność biologiczną wody w podsystemie dystrybucji wody.

The idea of the „multi-barrier” appeared in professional journals already several years ago. It was defined as an integrated system of procedures, processes and tools, which together are intended to prevent or reduce pollution of drinking water in order to reduce risks to public health. The system starting from the source to the „last tap” of the final consumer. The application of this system requires not only changing the approach to the design and operation of treatment systems, but also the right tools. They are needed both to increase the efficiency of each process, and for effective monitoring and control them. The primary objectives of these tools are not only increasing the flexibility of the entire system and improve water quality, but improving of the stability of the water supplying the distribution subsystem.

The article presents possibility to use control systems as part of the coagulation process in „multi-barrier” system to increase the efficiency of coagulation in the removal of compounds that may reduce the biological stability of water in distribution subsystem.

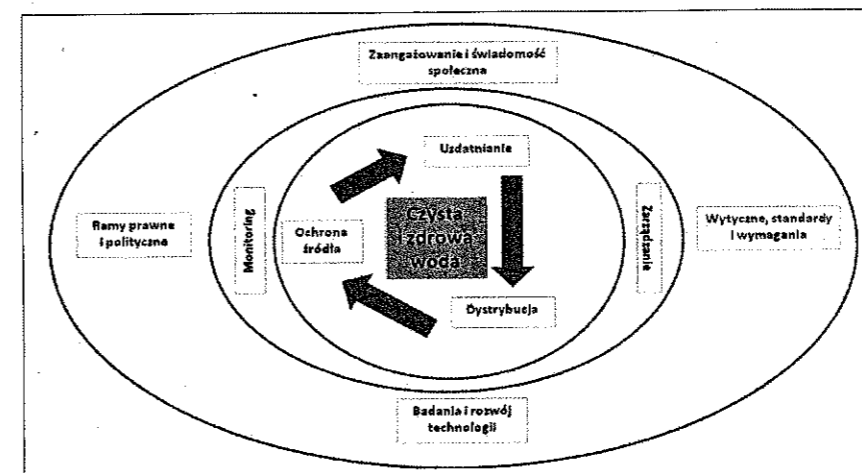
dr inż. Marcin Kłos – Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, Dział BiR, SEEN Technologie

Wstęp

Problem zapewnienia dostaw bezpiecznej wody do odbiorców komunalnych zawsze będzie jednym z ważniejszych wyzwań stawianych władzom samorządowym. Lista czynników wpływających na warunki, które należy spełnić, aby dostarczana woda była nie tylko bezpieczna ale i tania, jest długa i w wielu przypadkach, jak np. energia elektryczna, koszty stosowanych reagentów chemicznych, w niewielkim stopniu są one zależne od przedsiębiorstwa wodociągowe i kanalizacyjnego.

Idea systemu „multibariery” pojawiła się w prasie specjalistycznej już kilkanaście lat temu. Zdefiniowana została ona jako zintegrowany system procedur, procesów i narzędzi, które wspólnie mają zapobiegać lub ograniczyć zanieczyszczenie wody do spożycia w celu zmniejszenia zagrożeń dla zdrowia publicznego, począwszy od źródła aż do punktu czerpalnego u końcowego odbiorcy [1, 2, 3]. Podstawę systemu stanowią 3 elementy: źródło wody, podsystem uzdatniania oraz podsystem dystrybucji (rysunek 1). Każdy z nich wpływa na pozostałe dwa elementy, a efektywność działania całego systemu zależy nie tylko od skuteczności działania każdego z nich, ale przede wszystkim od ich współdziałania [1, 4, 6].

Aplikacja tego systemu w praktyce w wielu przypadkach wymaga zmiany podejścia do projektowania i eksploatacji systemów uzdatniania. Z doboru procesów jednostkowych pod kątem spełnienia jedynie wymaganych wartości wskaźników jakościowych, punkt ciężkości przesuwają się na zwiększenie elastyczności działania całego układu oraz kwestię poprawy jakości wody nie tylko w zakresie wymaganym



Rys. 1. Struktura systemu „multibariery” [4]

przez przepisy, ale przede wszystkim pod kątem zapewnienia stabilności chemicznej i biologicznej wody w podsystemie dystrybucji. Jedną z podstawowych zalet stosowania wielu barier stawianych zanieczyszczeniom jest to, że oprócz zwiększenia bezpieczeństwa działania systemu wodociągowego pozwalają one na optymalizację działań poprzez racjonalizację wykorzystania poszczególnych elementów systemu oraz efekt synergii. Jednak dla wprowadzenia tego systemu wymagane są odpowiednie narzędzia, które pozwolą nie tylko na dobór odpowiednich rozwiązań stosowanych procesów jednostkowych, ale także na zapewnienie efektywnej kontroli ich przebiegu i bieżącej oceny ich skuteczności.

W artykule przedstawiono analizę wpływu implementacji systemu „multibariery” na wymagania stawiane procesom jednostkowym stosowanym w uzdatnianiu wód powierzchniowych, ze szczególnym uwzględnieniem procesu koagulacji i separacji zawiesiny pokoagulacyjnej.

Problemy podsystemu uzdatniania wody w systemie „multibariery”

Wdrożenie systemu „multibariery” wymaga uwzględnienia w analizie niezawodności technologicznej wszystkich ograniczeń technicznych i technologicznych związanych z możliwością penetracji patogenów lub zanieczyszczeń przez pojedynczą barierę. Pojedyncza bariera może być niewystarczająca do usuwania lub zapobieżenia zanieczyszczeniu wody do picia, ale razem dają większą pewność, że będzie ona spełniała wymagania stawiane wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Podejście takie pomaga w zapewnieniu stabilności pracy systemów wodociągowych [1]. Z technologicznego

punktu widzenia najważniejszym elementem systemu jest sama stacja uzdatniania. Analizując realizowane procesy technologiczne pod kątem wykorzystania ich jako poszczególnych elementów „multibariery”, pierwszym krokiem jest ocena skuteczności poszczególnych procesów jednostkowych w usuwaniu określonych grup zanieczyszczeń. Aby to zrobić, należy sprecyzować warunki brzegowe prowadzenia procesu, które determinowane są przez pozostałe elementy systemu wodociągowego. Oznacza to, że dla oceny ryzyka technologicznego działania układu uzdatniania należy w pierwszej kolejności określić zakres możliwych zmian jakości wody w źródle wraz z czynnikami ją determinującymi oraz dokładnie sprecyzować wymagania, które powinna spełnić woda uzdatniona kierowana do sieci.

Częstym błędem na etapie oceny wymaganej efektywności układu uzdatniania jest utożsamianie wymagań stawianych wodzie kierowanej do sieci wodociągowej z wymogami przedstawionymi w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia określającego wymagania jakościowe stawiane wodzie do picia. Nie można zapominać, że ten akt prawny reguluje jakość wody w punkcie czerpalnym u końcowego odbiorcy [5, 6]. Oznacza to, że ustalając warunki brzegowe pracy SUW konieczne jest uwzględnienie zmian, jakim będzie podlegała woda w sieci.

Pierwszym krokiem do implementacji systemu „multibariery” jest określenie, jakim skażeniom ma ona przeciwdziałać. W praktyce najbardziej efektywne jest tworzenie tego rozwiązania w przypadku wód powierzchniowych. Analizując najczęstsze przyczyny przekroczeń wskaźników jakościowych w przypadku tego typu wód, można wyróżnić dwa podstawowe elementy: przekroczenie mętności oraz stężenia chloru lub innego środka dezynfekcyjnego, często połączone z przekroczeniem dopuszczalnego stężenia ubocznych produktów dezynfekcji [9]. Przyczyny tego stanu są różne. W przypadku ponadnormatywnych stężeń środka dezynfekcyjnego wynika to z konieczności zapewnienia odpowiedniej jakości wody pod względem mikrobiologicznym. Ponieważ od wymagań przedstawionych w Załączniku 1A i 3A Rozporządzenia [5, 6] nie może być żadnych odstępstw, operatorzy stacji uzdatniania bardzo często wybierają mniejsze zło, godząc się na okresowe przekroczenie stężenia środka dezynfekcyjnego w części sieci wodociągowej, mając jako alternatywę niebezpieczeństwo pojawienia się w sieci niedopuszczalnej ilości patogenów. W przypadku mętności, nawet jeśli w wodzie opuszczającej SUW wartość tego wskaźnika wynosi poniżej wymaganego poziomu 1 NTU, to w wyniku procesów zachodzących w sieci wodociągowej, głównie spowodowanych korozją elektrochemiczną i biologiczną (tzw. wtórne skażenie), poziom mętności często przekracza dozwoloną wartość.

Analiza przyczyn, prowadzona dla znacząco różniących się od siebie systemów wodociągowych, daje jednak zbliżone wnioski:

a) **Problemy z jakością wody częściej dotyczą mniejsze systemy wodociągowe niż duże stacje uzdatniania.**

Przyczyn tego stanu rzeczy jest wiele. Abstrahując od kwestii finansowych, można zauważyć, że stacje uzdatniania wody o dużych zdolnościach produkcyjnych, pracujące na potrzeby dużych systemów wodociągowych, są zwykle bardzo mocno niedociążone hydraulicznie w stosunku do ich nominalnych wydajności. Daje to znaczny margines bezpieczeństwa technologicznego pracy poszczególnych układów uzdatniania, który przekłada się min. na małe obciążenia hydrauliczne układów koagulacji, osadników, filtrów pospiesznych, co w znacznym stopniu poprawia ich sprawność technologiczną. W przypadku małych systemów wodociągowych, z uwagi na silny rozwój infrastruktury wodno – kanalizacyjnej na terenach podmiejskich i wiejskich, większość stacji pracuje z pełną wydajnością projektową, a nawet okresowo ją przekracza.

b) **Brak zapewnienia stabilności wody podawanej do sieci.**

Pomimo, że problem stabilności wody podawanej do sieci jest obecny we wszystkich powojennych regulacjach prawnych dotyczących jakości wody do picia, to niewiele stacji wyposażonych jest w automatyczne lub półautomatyczne systemy korekty pH wody, pracujące pod tym

kątem. Jeżeli już takie systemy występują, to zwykle ich obecność wynika z funkcji technologicznych, wymuszonych przez warunki stawiane przez poszczególne procesy jednostkowe np. korekta pH przed procesami koagulacji, bądź odżelaziania i odmanganiania. To samo dotyczy kwestii stabilności biologicznej, która w wielu przypadkach utożsamiana jest przez operatorów stacji z problemem występowania komórek bakterii w wodzie podawanej do sieci i rozwiązywana przez zmianę dawki lub rodzaju środka dezynfekcyjnego. A to z kolei bardzo często zwiększa korozyjność wody i intensyfikuje zjawisko wtórnego skażenia.

c) Niewystarczająca efektywność technologiczna stosowanych procesów i realizujących je urządzeń.

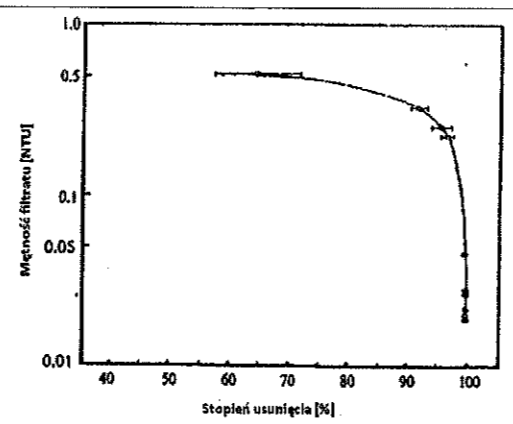
Przyczyn problemów z skutecznością działania układu technologicznego jest wiele. W praktyce wodociągowej stacje uzdatniania wody komunalnej niezmiernie rzadko poddaje się ocenie bezpieczeństwa procesowego na drodze np. metodyki HAZOP, FMEA, etc. Częściej zakłada się, czy to na etapie projektu, czy już eksploatacji, uzyskanie założonego efektu technologicznego i stara się go osiągnąć próbując optymalizować działanie poszczególnych urządzeń. Efekty są jednak różne i bardzo często dalekie od oczekiwań [13]. Wydaje się, że najczęściej popełnianym błędem jest kwestia określenia założonego celu technologicznego, wynikająca z doboru złych kryteriów, jakim jest przyjęcie arbitralnych zapisów z Rozporządzenia Ministra Zdrowia. Brak jest jednego koherentnego wskaźnika pozwalającego na przyjęcie go jako kryterium optymalizacyjne procesu uzdatniania.

Propozycje narzędzi wspomagających efektywność poszczególnych barier

Analizując efektywność pracy stacji uzdatniania, jako elementu systemu wodociągowego, można stwierdzić, że dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie dwóch wskaźników optymalizacyjnych: mętności lub liczby cząstek oraz zapotrzebowania wody na środek dezynfekcyjny. Mętność nie jest wskaźnikiem mającym jedynie znaczenie w ocenie własności organoleptycznych wody. Jest to bardzo ważny element pozwalający na ocenę bezpieczeństwa. Wyniki wielu badań pokazują, że można na podstawie wartości tego wskaźnika oceniać skuteczność usuwania mikroorganizmów. Dla prawidłowo przeprowa-

dzonego procesu koagulacji i filtracji pospiesznej jesteśmy w stanie uzyskać poziom usunięcia mikroorganizmów na poziomie 3 – 4 log. Na rysunku 2 przedstawiono zależność stopnia usunięcia przetrwalników *Cryptosporidium* w zależności od mętności filtratu. Można zauważyć, że dopiero uzyskanie filtratu o mętności poniżej 0,1 NTU gwarantuje uzyskanie stopnia usunięcia przetrwalników na poziomie 2 – 4 log [9].

Rys. 2. Zależność stopnia usunięcia przetrwalników mikroorganizmów od mętności filtratu [9]



Oznacza to, że należy ponownie przewartościować wymagania, które stawiane są filtrom pospiesznym i ich efektywności.

Zapotrzebowanie wody na chlor lub inny, stosowany środek dezynfekcyjny nie jest wskaźnikiem limitowanym w przepisach. Niemniej zdaniem wielu autorów jest to jeden z najważniejszych wskaźników pozwalających na ocenę skuteczności działania stacji uzdatniania, jako elementu przygotowującego wodę do, czasami wielodniowego, transportu do końcowego odbiorcy. Jego mankamentem jest czasochłonne oznaczanie, które utrudnia jego wykorzystanie do bieżącej oceny skuteczności pracy układu. Dlatego potrzebne jest, aby określić pewne zależności pomiędzy zapotrzebowaniem wody na utleniacz a podstawowymi wskaźnikami jakościowymi, które jesteśmy w stanie mierzyć, najlepiej w czasie rzeczywistym. Dla większości wód można znaleźć sposoby predykcji tego parametru na podstawie pewnych wskaźników podstawowych. Najczęściej wartość zapotrzebowania wody można modelować za pomocą wskaźników warunkujących kinetykę procesu chlorkowania. Biorąc pod uwagę konieczność monitoringu w czasie rzeczywistym pożądaną grupą parametrów jakościowych oznaczanych w tym celu wydaje się być: temperatura, pH, mętności oraz ilość związków organicznych mierzonych jako absorbancja lub transmitancja w nadfiolecie [10,11,12].

Wyznaczenie parametrów jakościowych, które stają się kryteriami optymalizacyjnymi jest jednak dopiero początkiem drogi do uzyskania najlepszych efektów uzdatniania. Pozostaje najtrudniejsze zadanie, czyli proces optymalizacji. Problemem na tym etapie jest niestety często intuicyjne postrzeganie systemu „multibarier”. Polega ono na chęci uzyskania w każdym procesie jednostkowym, jak najlepszego efektu usuwania możliwie

dużej grupy zanieczyszczeń, najlepiej wszystkich z którymi musimy się zmierzyć. Polega to na tworzeniu z poszczególnych procesów jednostkowych układu szeregowych barier dla całego zakresu usuwanych zanieczyszczeń. A to nie jest zawsze możliwe. Podstawowymi procesami jednostkowymi stosowanymi do uzdatniania wód powierzchniowych są koagulacja i filtracja pospieszna. Kryteria optymalizacyjne stawiane tym procesom w układzie technologicznym mogą być zbieżne, jeśli np. zachodzi konieczność usuwania jedynie zawiesin. Jednak najczęściej proces koagulacji stosowany jest dla obniżenia zanieczyszczeń związkami organicznymi oraz w celu usunięcia prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji. Wyniki wielu badań pokazują, że w takim przypadku optymalizacja koagulacji prowadzona jest na drodze mechanizmu koagulacji zmieniającej. Dla takiego sposobu prowadzenia procesu nie zawsze uzyskanie najwyższego stopnia usunięcia naturalnej materii organicznej idzie w parze z uzyskaniem możliwie najniższej mętności wody po osadnikach, zwłaszcza, gdy nie zamierzamy, lub nie możemy stosować polielektrolitów. Obecne podejście do oceny pracy i wymagań stawianym koagulacji, separacji zawiesiny pokaagulatoryjnej i filtracji pospiesznej, przesuwa odpowiedzialność za uzyskanie założonego stopnia usuwania zawiesiny w kierunku filtrów pospiesznych. Natomiast procesy poprzedzające filtrację mają za zadanie usunąć w maksy-

malnym stopniu związki rozpuszczone (koagulacja, strącenie) i stworzyć akceptowalne warunki pracy filtrów pospiesznych. Dzięki temu nie musimy w sztuczny sposób wymuszać np. bardzo niskiej mętności wody po procesie sedymentacji poprzez np. dozowanie dużych ilości flokulantów. Z punktu widzenia dobrze zaprojektowanych filtrów pospiesznych nie ma większej różnicy w ich eksploatacji, gdy woda je zasilająca ma mętność 2 NTU, czy też 0,7 NTU. W niektórych przypadkach, wyższa mętność wody dopływającej na złożę wręcz przyspiesza i poprawia skuteczność działania filtra w zakresie usuwania zawiesiny, zwłaszcza cząstek o wielkości podobnej do wielkości komórek mikroorganizmów i ich przetrwalników. Oznacza to, że stacja uzdatniania powinna stanowić „multibarierę” dla wchodzących zanieczyszczeń, złożoną z selektywnych barier – procesów jednostkowych, zoptymalizowanych kryteriów, determinowanych przez wymagania stawiane przez aktualne przepisy oraz przez narzucone wymagania podsystemu dystrybucji.

Podstawowym problemem z punktu widzenia technologicznego jest:

- dostosowanie procesów i realizujących je urządzeń do stawianych wymagań,
- monitoring kluczowych parametrów jakości wody w ciągu technologicznym oraz wykorzystanie pozyskanych danych dla sterowania procesem i minimalizacji niebezpieczeństwa produkcji wody nie spełniającej wymogów.

W przypadku stacji uzdatniania wód powierzchniowych podstawowymi elementami decydującymi o skuteczności pracy układu technologicznego jest proces koagulacji i filtracji pospiesznej. Dla zapewnienia prawidłowego przebiegu koagulacji decydujące znaczenie ma możliwość stałego prowadzenia tego procesu z zastosowaniem tzw. dawki optymalnej koagulantu. Dawka taka pozwala na uzyskanie wymaganych, wysokich efektów usuwania zanieczyszczeń przy racjonalnym zużyciu reagenta oraz zapewnienia prawidłowego przebiegu poszczególnych procesów jednostkowych. Obowiązujące w większości stacji procedury doboru dawek reagentów, przy wykorzystaniu metody testów zlewkowych (jar-tests), z reguły pozwalają na uzyskanie prawidłowych wyników. Jednak w przypadku, gdy ujmowane wody charakteryzują się zmiennością jakościową, ograniczenia tej metody powodują, że uzyskiwana informacja o wymaganej konfiguracji dawek reagentów jest na ogół spóźniona i nieadekwatna do istniejącej sytuacji. Stosowanie zaś niewłaściwych dawek koagu-

lantu i środków wspomagających koagulację jest powodem wielu problemów, począwszy od spadku efektywności usuwania zanieczyszczeń, aż po pojawienie się w uzdatnionej wodzie ponadnormatywnych ilości koagulantu resztkowego, wzrostu mętności w przefiltrowanej wodzie, czy też skróceniu długości cykli filtracyjnych, skutkujących zwiększonym zużyciem wody do płukania filtrów i przeróbką zwiększonej ilości osadów pokaagulatoryjnych.

Konieczność zapewnienia wody o bardzo niskiej mętności spowodowała, że wiele z eksploatowanych układów filtracji pospiesznej wymaga unowocześnienia. Dla zmniejszenia mętności wody przefiltrowanej do wymaganego poziomu w większości przypadków wystarcza zmniejszenie efektywnej średnicy złożeń filtracyjnych. Jednak w rzeczywistości rozwiązanie tego problemu nie jest tak proste. Zastosowanie złożeń o mniejszej średnicy efektywnej ziaren jest źródłem nowych problemów eksploatacyjnych. Jednym z najważniejszych jest skrócenie długości cykli filtracyjnych oraz wzrost podatności złożeń na tzw. „przebiecie”. Aby przeciwdziałać tym niekorzystnym zjawiskom, zmniejszeniu efektywnej średnicy ziaren złożeń filtracyjnych powinna towarzyszyć zmiana rodzaju złożeń, która pozwoli na zwiększenie pojemności czynnej złoża, a więc i ich zdolności do zatrzymywania ładunku zawiesin. Można to uzyskać poprzez np. zastąpienie piaskowych złożeń filtracyjnych złożami trójwarstwowymi: antracytowo – piaskowymi – garnetowymi. Wprowadzenie dodatkowej warstwy antracytu pozwala nie tylko na proste zwiększenie zdolności akumulacji zawiesin, ale daje także nowe możliwości technologiczne. Pozwala na prowadzenie efektywnej, zarówno technologicznie jak i ekonomicznie, koagulacji powierzchniowej (w złożu), który to proces wymagał z reguły stosowania filtrów kontaktowych o konstrukcji odmiennej od typowych filtrów pospiesznych. Dzięki temu w wielu przypadkach, przy uzdatnianiu wód o stosunkowo niskiej mętności i znacznej ilości zanieczyszczeń organicznych, można poprawić zarówno efektywność, jak i ekonomię procesu. Zastosowanie natomiast warstwy garnetu o uziarnieniu rzędu 0,25 ÷ 0,3 mm pozwala na uzyskanie bardzo dobrych efektów separacji zawiesiny.

Wydaje się jednak, że to kwestia monitoringu staje się bardziej kluczowa. W ostatnich latach poczyniono wiele inwestycji w zakresie modernizacji układów technologicznych. Jednak w wielu przypadkach skupiano się jedynie na modernizacji lub wymianie poszczególnych urządzeń, nato-

miast zapomniano, że powinny one pracować jako jeden układ. W wielu przypadkach zabrakło stworzenia wspólnej platformy integrującej informacje uzyskiwane z poszczególnych urządzeń i pozwalającej na sterowanie technologiczne procesem w oparciu o uzyskiwane informacje.

Z punktu widzenia technologii procesu uzdatniania, bardziej niż metrologii pomiarów, w chwili obecnej możemy wyróżnić dwa podstawowe rodzaje systemów służących do prognozowania dawki koagulantu oraz sterowania tym procesem. Pierwszy z nich opiera się na analizie danych jakościowych wody surowej, natomiast drugi, uwzględnia oprócz zmian jakości ujmowanej wody także efektywność procesu. Ocena, który z nich jest lepszy, jest niezwykle trudna. Niemniej analizując ich zalety i wady, można zauważyć, że pierwszy z nich jest bardziej odporny na zaburzenia wynikające z samego przebiegu procesu. Uwzględniając w predykcji dawki jedynie jakość wody surowej minimalizujemy niebezpieczeństwo popełnienia błędów, gdy zaburzenia w przebiegu procesu spowodowane np. wadliwym działaniem mieszadeł, problemami z rozdziałem wody na poszczególne urządzenia, lokalnymi wzrostami gradientu mieszania, skutkujące rozbiciem agregatów pokaagulatoryjnych, zostaną potraktowane jako efekty niewłaściwie dobranej dawki koagulantu. Natomiast drugie podejście, które uwzględnia skutki dozowania koagulantu pozwala nie tylko na ewentualną identyfikację problemów występujących na etapie realizacji procesu, ale przede wszystkim pozwala na ocenę koagulacji w aspekcie jej dominującego mechanizmu. Jest to szczególnie ważne w przypadku wód zanieczyszczonych dużą ilością materii organicznej, dla których jedynie koagulacja wymiatająca pozwala na uzyskanie wymaganej skuteczności jej usuwania, a w szczególności prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji oraz zapewnienia biostabilności wody. Dlatego też wydaje się, że to właśnie to drugie podejście ma szansę na rozwój w przyszłości.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat ideowy systemu kontroli i sterowania procesem koagulacji w zakresie predykcji optymalnej dawki koagulantu oraz utrzymywania wymaganej skuteczności technologicznej. W zakres pomiarów wchodzi następujące wskaźniki:

- pomiar w wodzie surowej:
 - mętność (M) lub alternatywnie liczba i wielkość cząstek (LC),
 - absorbancja w nadfiolecie przy długości fali 254 nm (UV254),
- pomiar po procesie sedymentacji (flocacji):

