

Marcin KŁOS

*Institut Inżynierii Wody i Ścieków
Politechnika Śląska
SEEN Technologie
Dział R&D*

STEROWANIE DAWKĄ KOAGULANTU JAKO ELEMENT OPTYMALIZACJI PROCESU KOAGULACJI

CONTROL OF COAGULANT DOSE AS ELEMENT OF COAGULATION OPTIMISATION

In the paper the assumptions to the steering system of coagulant dosing at real time with the usage of a controlling system based on the Streaming Current Analyzer (SCA) were presented. The role of that analyzer is to adjust a coagulant dose to the changes of electrokinetic potential values. SCD will be additionally equipped with a measurement system which allows to verify a reagent dose on the base of coagulation effectiveness evaluated on natural organic matter (NOM) removal and properties of post-coagulation suspension in aspect of the following process of its separation.

The abovementioned assumptions were analyzed taking into consideration the possibilities of operation of the designed system elements (SCA, turbidity measurements, absorbance UV measurements) which are the operating elements of coagulation. On the base of the analysis the proposal of the designed operating system, which allows to optimize a coagulant dose dependently of raw water quality and coagulation effectiveness at the optimum dose, will be proposed.

1. Wprowadzenie

W większości stacji uzdatniania wody kontrola procesu koagulacji oparta jest na okresowym poborze próbek w wytypowanych miejscach ciągu technologicznego, które następnie poddawane są analizie w laboratorium zakładowym. W oparciu o uzyskane wyniki ocenia się efektywność procesu. Niekiedy powyższe rozwiązania wspomagane są przez pracujące on-line mętnościomierze instalowane na dopływie wody surowej, po osadnikach lub komorach flotacji oraz po filtrach pospiesznych.

Podobne ograniczenia występują także w samym systemie sterowania procesem uzdatniania, który w ramach podejmowania podstawowych decyzji technologicznych np. o dawce koagulantu i flokulantów, zakresie korekty pH wykorzystuje standardowo metodykę tzw. testów naczyniowych (zlewkowych). Metodyka ta jest ogólnie znana i

daje pewność podjęcia właściwych decyzji, co do zmiany parametrów technologicznych procesu koagulacji. Niemniej stosowanie jej oznacza, że wszelkie nieprawidłowości podczas uzdatniania nie mogą być na bieżąco zlokalizowane, a tym samym ze znacznym opóźnieniem podejmowane są decyzje o zmianie parametrów technologicznych. Koniecznym zatem, staje się zastosowanie rozwiązań pozwalających na kontrolę procesu koagulacji, będącej podstawą większości systemów uzdatniania wód powierzchniowych, w czasie rzeczywistym. Wprowadzenie systemów sterowania parametrami koagulacji w systemie on-line nie tylko pozwala na zwiększenie efektów oczyszczania wody i poprawę ekonomiki procesu poprzez optymalizację stosowanych dawek koagulantu, ale także w ogromnym stopniu zwiększa niezawodność procesu. Jest to szczególnie istotne podczas uzdatniania wód o dużej zmienności jakościowej i niebezpieczeństwie skażenia bakteriologicznego.

Próby zautomatyzowania systemów sterowania procesem koagulacji, w tym dozowania reagentów są przedmiotem badań od wielu lat [3,4,7,8,9,11,15]. Niestety wyniki tych badań w niewielkim stopniu znalazły odzwierciedlenie w praktyce. W większości stacji uzdatniania wody, czy to do celów bytowo-gospodarczych, czy przemysłowych jedynym elementem automatyki w tym zakresie są układy zapewniające dozowanie koagulantu proporcjonalnie do przepływu lub korelujące dawkę wprowadzanych reagentów w zależności od wartości mętności ujmowanej wody. Znikoma ilość aplikacji technicznych w tym zakresie wynika prawdopodobnie:

- z braku rozwiązań na tyle elastycznych, żeby można byłoby zastosować je w przypadku wód o różnym charakterze,
- obaw osób odpowiedzialnych za eksploatację systemów uzdatniania przed automatyzacją systemu i przed scedowaniem decyzji technologicznych na układ automatyki pracujący w trybie autonomicznym, zwłaszcza w przypadku układów oczyszczających wodę o dużej zmienności jakościowej,
- kosztem aplikacji takich układów, w momencie, gdy trudno jest określić stosunek ewentualnych zysków do poniesionych kosztów. Wynika to z faktu, że działania te przekładają się raczej na zwiększenie niezawodności technologicznej układu uzdatniania, a nie generują bezpośrednich zysków wynikających z np. znacznego zmniejszenia zużycia reagentów, co wymaga zastosowania specyficznej metodologii wyliczenia ewentualnych zysków.

Nieliczne aplikacje tego typu rozwiązań działają na niewielu stacjach uzdatniania wody. Ograniczają się one jedynie do zapewnienia dawki reagentów określonej na drodze przeprowadzonych testów zlewkowych i nie pozwalają na bieżącą (prowadzoną w czasie rzeczywistym) ocenę efektywności przebiegu procesu koagulacji i separacji zawiesiny pokoagulacyjnej. Ewentualne zaburzenia wychwytywane są dopiero podczas rutynowych analiz kontrolnych prowadzonych dla wody uzdatnionej, których harmonogram rzadko skorelowany jest ze zwłoką czasową wynikającą z przebiegu poszczególnych procesów jednostkowych, a częściej ustalany jest z uwagi na możliwości i charakter pracy laboratorium.

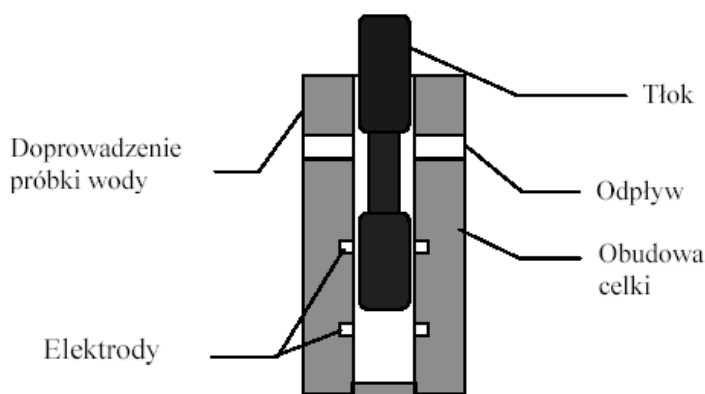
W referacie przedstawiono założenia systemu sterowania dawką koagulantu w czasie rzeczywistym. System kontroli i sterowania zostanie oparty na Analizatorze Prądu Strumieniowego (APS), którego zadaniem jest dostosowanie dawki koagulantu do zmian wartości potencjału elektrokinetycznego oraz na systemie pomiarowym, pozwalającym na weryfikację wielkości dawki reagenta w oparciu o pomiar efektów koagulacji w zakresie usuwania Naturalnej Materii Organicznej (NOM) oraz własności zawiesiny pokoagulacyjnej w aspekcie założonego sposobu jej separacji.

2. Wykorzystanie Analizatora Prądu Strumieniowego w sterowaniu dawką koagulantu

Analizator Prądu Strumieniowego został wprowadzony jako nowa technologia w 1966 roku. W ostatnich latach znalazł szerokie zastosowanie w wielu aplikacjach związanych z uzdatnianiem wody i oczyszczaniem ścieków. W chwili obecnej można wyróżnić dwa podstawowe kierunki jego wykorzystania: pierwszy związany z kontrolą dawkowania koagulantów oraz drugi, gdzie przyrząd wykorzystywany jest do określania ładunku powierzchniowego układów koloidalnych, w tym do badań efektywności koagulantów i flokulantów organicznych [1,2,5,6,8]. W odróżnieniu od innych sposobów pomiaru potencjału elektrokinetycznego pozwala on na kontrolę próbki w przepływie, dzięki czemu w znaczny sposób poszerza to zakres aplikacji.

2.1. Zasada działania APS

Analizator Prądu Strumieniowego jest ciągłym analizatorem stanu elektrokinetycznego cząstek zawieszonych w wodzie, który daje możliwość: monitorowania, pomiaru i/lub kontroli procesu koagulacji. Jest to jedyny przyrząd, który w sposób bezpośredni mierzy wpływ dodawania koagulantu na zmianę potencjału elektrokinetycznego. Przyrząd wykonuje niezwłocznie pomiar wartości prądu zmierzonego pomiędzy dwoma elektrodami, generowanego przez wolne jony o przeciwnych znakach, z których jedne pochodzą z tzw. warstwy podwójnej cząstki koloidowej, a drugie z głębi roztworu. Jony te oddzielane są hydraulicznie od wolnych koloidalnych cząsteczek obecnych w próbce wody a następnie adsorbowane na ściankach ogniwa. Oddzielanie powodowane jest ruchem postępowo-zwrotnym numnika w obrębie otworu ogniwa, co powoduje hydrauliczne usuwanie jonów i ich przenoszenie w kierunku elektrod. W wyniku tego powstaje zmienny prąd, który jest proporcjonalny do wielkości ładunku powierzchniowego cząstek koloidalnych [12,16].



Rys. 1. Celka pomiarowa SCD

Fig. 1. SCD detection cell

Sygnal z elektrod sondy przetwarzany jest na drodze elektronicznej. W rezultacie otrzymujemy standardowy sygnał wyjściowy 4 - 20 mA, proporcjonalnym do wartości prądu generowanego przez ładunek cząstek, który jest skalowany od -100 do +100 umownych jednostek SC [12]. Dawka koagulantu zapewniająca najbardziej optymalne usuwanie mętności (lub barwy) wcale nie odpowiada najniższej wartości ładunku powierzchniowego i trzeba ją wcześniej wyznaczyć doświadczalnie w warunkach laboratoryjnych.

Wyniki wielu prac naukowych i wdrożeń dowiodły, że istnieje bardzo silna korelacja pomiędzy pomiarami generowanymi przez APS a wartością potencjału zeta [5,6,16]. Dzięki temu przyrząd ten stanowi alternatywę dla klasycznych mierników potencjału elektrokinetycznego, których zastosowanie w systemach on-line jest problematyczne.

2.2. Ograniczenia aplikacyjne APS

Pomimo szeregu badań nad automatyzacją procesu koagulacji z wykorzystaniem APS oraz wielu pozytywnych wdrożeń nie zawsze wyniki aplikacji tego urządzenia są zgodne z oczekiwaniami. Najczęściej wynika to z błędnego założenia, że aplikacja tego urządzenia pozwoli na identyfikację i wyeliminowanie wszystkich problemów występujących podczas realizacji tego procesu jednostkowego. Biorąc jednak pod uwagę, że na efektywność i skuteczność koagulacji ma wpływ bardzo duża liczba różnych czynników (jakość wody surowej, jej zmienność w skali doby i roku) oraz parametrów technologicznych (rodzaj koagulantu i środków wspomagających flokulację, sposób realizacji procesu koagulacji i separacji zawiesiny pokoagulacyjnej), zastosowanie APS nie rozwiąże wszystkich problemów technologicznych. Możliwości techniczne oraz sposób aplikacji tego urządzenia predestynują go jedynie do kontroli dozowania koagulantu w sposób pozwalający na dostosowanie się do zmian ilości związków o charakterze kolidalnym w wodzie surowej. Natomiast nie pozwala on na eliminację problemów wynikających np. ze zmiany odczynu uzdatnianej bądź nieprawidłowego przebiegu procesów separacji zawiesin pokoagulacyjnych. Dlatego też, APS powinien być jednym z wielu elementów układu kontroli i sterowania. Uzupełnienie analizatora powinny stanowić urządzenia dwóch grup. Pierwsza grupa to zespół urządzeń pozwalających na kontrolę parametrów jakościowych ujmowanej wody, które nie są monitorowane przez ASP. Drugą grupę powinny stanowić elementy kontrolujące efektywność i skuteczność procesu koagulacji i separacji zawiesin pokoagulacyjnych w zakresie określonego zestawu wskaźników jakościowych.

3. Zastosowanie pomiarów spektrofotometrycznych w zakresie UV/VIS

Kontrola procesu koagulacji wymaga zastosowania pomiarów, które pozwalają na śledzenie zmian jakościowych wody w układzie technologicznym w czasie rzeczywistym. Biorąc pod uwagę, że jednym z zadań procesu koagulacji jest usuwanie zanieczyszczeń organicznych koniecznym elementem układu kontroli i sterowania tym procesem jest właśnie pomiar tej grupy związków. W chwili obecnej istnieje szereg metod analitycznych stosowanych powszechnie do oceny zanieczyszczenia wody związ-

kami organicznymi. Jednak praktycznie wszystkie są pomiarami *ex situ*. Jedynym rozwiązaniem, które pozwala na oznaczenie ilościowe związków organicznych w czasie rzeczywistym jest spektrofotometria w zakresie nadfioletu i światła widzialnego (UV/VIS).

Spektroskopia UV/VIS stosowana jest w analityce wody i ścieków od lat 30 XX wieku. Szczególnie szeroko wykorzystywana jest analiza w zakresie pośredniego i bliskiego nadfioletu (200 – 300 nm), która pozwala na oznaczenie w tzw. metodyce bezreagentnej związków organicznych, zwłaszcza tych, które posiadają w swojej strukturze wiązania niewysyczone. Szereg prowadzonych badań wykazał, że istnieją bardzo silne korelacje pomiędzy absorbcją mierzoną przy długości fali 254 nm (UV254) a szeregiem typowych wskaźników takich jak: ogólny węgiel organiczny, chemiczne zapotrzebowanie na tlen oraz specyficznych parametrów, jak np. potencjał tworzenia chlorowcopochodnych. Natomiast pomiary prowadzone w zakresie światła widzialnego wykorzystywane są w metodyce oznaczeń barwy wody oraz mętności [10,14].

Ważnym czynnikiem wpływającym na możliwości wykorzystania tej metody pomiarowej w czasie rzeczywistym jest kompensacja wpływu obecnych w wodzie innych zanieczyszczeń, które mogą fałszować wyniki pomiarów. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć obecność zawiesin (mętność). Kompensacja tego czynnika może być przeprowadzona dwutorowo. Pierwszy sposób to filtracja próby przed pomiarem spektrofotometrycznym. Drugi to kompensacja programowa wyników w oparciu o prowadzone równoległe pomiary mętności lub liczby cząstek.

Pomiary absorbcji wykorzystywane są także powszechnie w opracowaniu układów automatyki procesu koagulacji. Wyniki dotychczasowych badań wykazały, że są one podstawowym elementem wielu modeli służących do predykcji dawki koagulantu, a nawet jego rodzaju.

4. Propozycje zmian w rozwiązaniach układów dawkowania reagentów i sterowania procesem koagulacji

Patrząc bardziej z punktu widzenia technologii procesu uzdatniania niż metrologii 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 błędu, gdy zaburzenia w przebiegu procesu spowodowane np. wadliwym działaniem mieszadeł, problemami z rozdziałem wody na poszczególne urządzenia, lokalnymi wzrostami gradientu mieszania, skutkujące rozbijaniem agregatów pokoagulacyjnych, 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 szczegól-

ności prekursorów ubocznych produktów dezynfekcji oraz zapewnienia biostabilności wody. Dlatego też wydaje się, że to właśnie te drugie podejście ma szansę na rozwój w przyszłości.

Niemniej, aby zapewnić właściwe funkcjonowanie systemu należy rozwiązać, wydaje się podstawowy, problem a mianowicie oddzielić kwestię kontroli chemizmu procesu, rozumianego jako wielkości dawek reagentów (koagulantu, flokulantu, środków korekty pH) od monitoringu przebiegu procesu. Kluczem do tego są dwa elementy: odpowiednia struktura systemu pomiarowego, uwzględniająca dobór rodzaju poszczególnych pomiarów i ich lokalizację oraz sposób przetwarzania sygnałów i zastosowane algorytmy sterowania.

4.1. Struktura układu

Proponowaną strukturę układu kontroli i sterowania procesem koagulacji przedstawiono na rysunku 2. Jest ona rozwiązaniem dwustopniowym. Pierwszym stopień to system analizy kontroli jakości wody surowej i wstępnego doboru dawki optymalnej. Głównym elementem tego stopnia jest Analizator Prądu Strumieniowego współpracujący z analizatorem pH. Ten tandem urządzeń, pracujący z układzie sterowania ze sprzężeniem zwrotnym z APS oraz proporcjonalnym dozowaniem koagulantu w stosunku do przepływu wody jest w stanie, w oparciu o zebrane wyniki pomiarów, zapewnić:

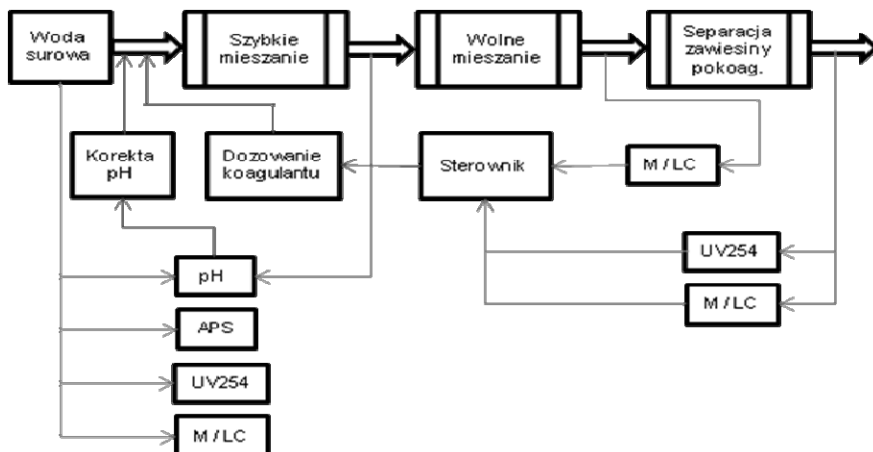
- dawkowanie reagentów w ilości odpowiedniej dla określonej jakości wody surowej,
- właściwą dawkę koagulantu niezależnie zmian jakości lub natężenia przepływu wody surowej,
- odpowiednie dawkowanie niezależnie od zmian stężenia roztworu koagulantu,
- utrzymanie wartości pH na poziomie wymaganym dla optymalnego przebiegu procesu koagulacji.

W ramach pracy I stopnia układu możliwe są dwa scenariusze działania. Wartością wyjściową prognozowanej dawki koagulantu będzie:

- w scenariuszu I – zadana w systemie początkowa dawka koagulantu (wynikająca z analizy wskaźników jakościowych w ramach drugiego stopnia), która korygowana będzie zgodnie ze wskazaniami APS,
- w scenariuszu II – to Analizator Prądu Strumieniowego określi dawkę koagulantu, dążąc do założonej neutralizacji potencjału elektrokinetycznego, która to dawka zostanie skorygowana w oparciu o wyniki pomiarów wybranych wskaźników fizyczno – chemicznych.

Drugi stopień stanowiły będą urządzenia wchodzące w skład systemu analizy zmian jakości wody w układzie uzdatniania. W zakres pomiarów wejdą 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 flokulacji:
 - liczba i wielkość cząstek,
- pomiar po procesie sedymentacji (flotacji):
 - mętność lub alternatywnie liczba i wielkość cząstek,
 - absorbancja (UV254).



Rys. 2. Schemat proponowanego systemu kontroli i sterowania koagulacją (oznaczenia w tekście)

Fig. 2. Scheme of proposed coagulation control system (signatures in text)

Powyższe pomiary powinny być uzupełnione o parametry eksploatacyjne układu filtracji pospiesznej (obciążenie hydrauliczne, przyrost oporów filtracji) oraz podstawowe wskaźniki jakościowe filtratu. Niemniej do prawidłowej pracy układu sterowania dane te są tylko uzupełnieniem i mogą służyć jako element pozwalający na optymalizację procesu koagulacji pod kątem zwiększenia skuteczności filtracji i poprawy ekonomiki tych procesów. Tak naprawdę o skuteczności i sukcesie systemu sterowania będą decydowały warunki brzegowe, definiujące wymaganą jakość wody opuszczającej osadniki lub komory flotacji. Warunki te powinny być określone na etapie przygotowania algorytmów analizy danych. Powinny one uwzględniać, nie tylko wymagany (zakładany) efekt technologiczny, ale także wpływ jakości wody na przebieg dalszych procesów jednostkowych, a w szczególności filtracji pospiesznej i dezynfekcji.

W chwili obecnej na rynku istnieje wiele rozwiązań i urządzeń realizujących wymagany zakres pomiarów. Problemem decydującym o poprawnej pracy układu kontroli i sterowania procesem koagulacji nie jest brak rozwiązań technicznych, ale właściwe ich połączenie w sieć pomiarową oraz interpretacja uzyskanych wyników. Niewłaściwa lokalizacja czujnika, nie uwzględniająca np. wymaganego okresu zwłoki potrzebnego na przebieg określonych reakcji chemicznych lub niewłaściwe jego zabudowanie, które nie zapewnia reprezentatywności prowadzonego pomiaru może skutkować fałszywymi rezultatami a w konsekwencji błędnymi decyzjami technologicznymi. Niemniej najważniejszym elementem całego systemu wydaje się być zastosowany algorytm interpretacji wyników i podejmowania decyzji.

4.2. System obróbki danych i modelowania

W praktyce wodociągowej określanie wymaganych dawek koagulantu realizowane jest na drodze tzw. testów zlewkowych. Niestety takie podejście nie tylko generuje znaczne koszty samych badań, ale z uwagi na swoją okresowość i długotrwałą procedurę testową pozwala jedynie na stwierdzenie zaistniałych nieprawidłowości, a nie na przewidywanie spodziewanych problemów i konieczności zmian parametrów technologicznych procesu [6,7].

Ograniczenia testów zlewkowych można obejść poprzez zastosowanie modelowania dla predykcji dawki stosowanych reagentów. Wyniki wielu badań prowadzonych w ostatnich latach wykazały, że możliwe jest stworzenie modelu pozwalającego na predykcję dawki optymalnej koagulantu. Dla modelowania tego zagadnienia wykorzystane są różne metody, począwszy od wieloczynnikowej analizy regresji, poprzez algorytmy oparte na teorii drzewa decyzyjnego aż po coraz powszechniej stosowane sieci neuronowe. Upowszechnienie się sztucznych sieci neuronowych (SSN) w rozwiązywaniu tego typu problemów spowodowane jest tym, że w większym stopniu niż modele fizyczne mają zdolność do odwzorowania nieliniowych zależności pomiędzy różnymi danymi uwzględnianymi w modelu.

Niemniej stworzenie odpowiednio pewnego modelu jest niezwykle trudne. Jest to spowodowane tym, że procesy jednostkowe stosowane w uzdatnianiu wody, a w szczególności proces koagulacji przebiega wg różnych mechanizmów a zależności pomiędzy poszczególnymi wskaźnikami jakościowymi i parametrami technologicznymi rzadko mają charakter liniowy.

Bez względu na przyjęty sposób analizy danych najważniejszym elementem budowy właściwego algorytmu jest odpowiedni dobór parametrów wejściowych modelu. W zależności od założonego celu i definicji zadań stawianych modelowi mamy do czynienia z dwoma najczęstszymi sytuacjami, kiedy :

1. na podstawie danych dotyczących jakości wody surowej oraz parametrów technologicznych procesu przewidywana jest zmiana jakości wody surowej,
2. na podstawie danych dotyczących jakości wody surowej, wartości wybranych parametrów technologicznych procesu oraz wymaganej jakości wody po procesie określa się optymalne wartości jednego lub dwóch parametrów technologicznych.

Pierwszy przypadek wykorzystywany jest powszechnie np. przy modelowaniu zmian jakości wody w sieci wodociągowej w aspekcie monitoringu stężenia ubocznych produktów dezynfekcji wody lub kontroli wtórnego zanieczyszczenia wody w układzie jej dystrybucji. Natomiast druga sytuacja ma miejsce w układach kontroli i sterowania procesem koagulacji połączonym z prognozowaniem dawki optymalnej reagentów. W tym przypadku wykorzystywane są tzw. odwrotne modele procesowe (process inverse).

W przypadku sztucznych sieci neuronowych, najczęściej stosowanych dla predykcji dawki koagulantu, dobór jakości i rodzaju danych wejściowych ma istotny wpływ na strukturę konstruowanej sieci a więc i na późniejszą implementację modelu w praktyce. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe, najczęściej wykorzystywane, konfiguracje danych wejściowych i wyjściowych modeli opartych na sieciach neuronowych. Z danych przedstawionych w tabeli widać, że model I znajduje zastosowanie, gdy konieczne jest prognozowanie skuteczności i przebiegu procesu w zależności od zmian jakości ujmowanej wody. Modele tego typu wykorzystywane są w ocenie bezpieczeństwa technologicznego procesu i określaniu progów jakościowych wody w zakresie monitoringu wody surowej, po przekroczeniu których należy spodziewać się problemów z końcową jakością wody uzdatnionej.

Model II służy do przewidywania zmian stężenia glinu pozostałego (tzw. koagulantu reszkowego) w wodzie po procesie koagulacji. Wraz z rozpowszechnieniem się koagulantów wstępnie zhydrolizowanych wydawało się, że problem glinu pozostałego nie jest już aż tak ważny. Powszechna opinia o tego typu reagentach głosiła, że przy poruszaniu się w określonym zakresie dawek niebezpieczeństwo przedozowania koagulantu jest minimalne. Niestety prowadzone ostatnio badania wykazały, że zjawisko to w układach uzdatniania nadal występuje. W odróżnieniu od koagulantów hydrolizujących zmieniły się jedynie formy specyficzne glinu. Z uwagi na duży udział form polimerowych, których szybkość strącania jest znacznie większa niż koagulantów tradycyjnych i niezależna od temperatury i pH oczyszczanej wody, przedozowanie koagulantów wstępnie zhydrolizowanych skutkuje pojawieniem się w odpływie z osadników dużych ilości drobnych cząstek (o rozmiarach ok. 10 do 20 mikrometrów). Cząstki te mogą powodować zwiększone obciążenie złóż filtrów pospiesznych, co w konsekwencji zmniejsza efektywność działania filtrów i pogarsza ekonomikę procesu.

Tab. 1. Konfiguracja danych dla modeli prognozowania (WE – parametr wejściowy, WY – parametr wyjściowy) [13]

Tab. 1. Configuration of data for prediction models (WE – input parameter, WY – output parameter) [13]

Model SSN	Woda surowa						Woda po procesie					Dawka koagulantu
	Mętność	Barwa	pH	UV254	Zasadowość	OWO	Mętność	Barwa	pH	UV254	Glin pozostały	
I	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WY	WY	-	WY	-	WE
II	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WY	WE	WY	WE
III	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WE	WE	-	WE	-	WY

Dla predykcji dawki koagulantu w zależności od zmian jakości wody wykorzystywane są modele typu III-ciego. Pozwalają one na oszacowanie dawki koagulantu w oparciu o określony zakres danych wyjściowych ze współczynnikiem determinacji większym od 0,9 i poziomem błędu bezwzględnego na tyle niskim, że pozwala to na zastosowanie modelu w warunkach technicznych [13]. Modele te mają jednak pewne ograniczenia. Najpoważniejszym z nich jest niska uniwersalność modelu. Przyjęta metodyka konstrukcji sieci neuronowej i jej treningu powoduje, że praktycznie niemożliwe jest zastosowanie sieci przygotowanej dla jednej aplikacji na innym obiekcie. Niemniej wydaje się, że nie jest to najpoważniejszy mankament. Poważniejszym problemem jest zachowanie się sieci w przypadku pojawienia się znacząco odmiennych wartości danych wejściowych (zwłaszcza w zakresie jakości wody surowej) niż te, które były wykorzystywane dla treningu sieci. I nie chodzi tu o np. okresowe pogorszenie jakości wody spowodowane np. intensywnymi opadami atmosferycznymi, ale o sytuację, gdy trwale zmieniają się wskaźniki, które mają wpływ na mechanizm procesu koagulacji jak np. charakter zanieczyszczeń organicznych określany jako absorbancja specyficz-

na (SUVA), udział Rozpuszczonego Węgla Organicznego lub pojawiają się prekursorzy ubocznych produktów utleniania. W takim przypadku, wymagane jest ponowne przeprowadzenie badań pozwalających na zdobycie informacji pozwalającej na ponowne wpracowanie SSN a automatyczny układ kontroli i sterowania musi pracować w trybie półautomatycznym lub ręcznym.

Dla minimalizacji przedstawionych powyżej wad systemów bazujących jedynie na analizie danych jakościowych wody surowej i uzdatnionej proponuje się następujące zmiany algorytmów prognozowania dawki reagentów w procesie koagulacji:

1. Aplikację modelu w taki sposób, aby przebiegała ona w oparciu o scenariusz II przedstawiony w pkt. 4.1. Scenariusz ten zakłada, Analizator Prądu Strumieniowego określi dawkę koagulantu, dążąc do założonego poziomu neutralizacji potencjału elektrokinetycznego, która to dawka zostanie skorygowana w oparciu o wyniki pomiarów wybranych wskaźników fizyczno – chemicznych. Dzięki temu system będzie bardziej uniwersalny i pozwoli na utrzymanie wartości bazowej dawki niezależnie od zmian jakości wody surowej. Dawka określona na podstawie wskazań APS zostanie uzupełniona o ilość koagulantu niezbędną do przeprowadzenia koagulacji wymiatającej. Korekta dawki odbywała się będzie na podstawie pomiarów zmian wartości absorbancji UV254, jako markera skuteczności usuwania zanieczyszczeń organicznych w formie rozpuszczonej. Kontrola przebiegu koagulacji realizowanej w oparciu o mechanizm koagulacji wymiatającej jest niezwykle trudna. Wiąże się ona z koniecznością jednoczesnej oceny przebiegu procesu sorpcji oraz aglomeracji zawiesin. Biorąc pod uwagę, że obecność rozproszonych zawiesin silnie wpływa na pomiary spektrofotometryczne konieczne wypracowanie odpowiednich metod kompensujących ich obecność.
2. W celu identyfikacji zaburzeń przebiegu koagulacji zostanie wykorzystany pomiar ilości i rozkładu wielkościowego cząstek. Zastosowanie tego typu pomiarów wymaga stworzenia modeli zmian rozkładów wielkości agregatów pokoagulacyjnych po poszczególnych procesach jednostkowych. Będą one pracowały głównie w oparciu o śledzenie zmian ilości cząstek o rozmiarach od 1 do 10 mikrometrów. Powyższe pomiary liczby cząstek można również rozszerzyć na filtry pospieszne. Dzięki zastosowaniu tego typu pomiarów można monitorować nie tylko przebieg flokulacji, ale także obecność niezaglomerowanych drobnych cząstek powstających podczas strącania koagulantów wstępnie zhydrolizowanych, które odpowiadają za stężenie tzw. koagulantu resztkowego w wodzie uzdatnionej oraz obecność form żywotnych i przetrwalnikowych mikroorganizmów. Zwłaszcza to druga możliwość jest niezmiernie istotna z uwagi na obecnie obowiązujący trend optymalizacji układów uzdatniania pod kątem usuwania organizmów z rodzaju *Cryptosporidium*.

5. Podsumowanie

1. Zastosowanie modeli matematycznych lub empirycznych dla predykcji dawek reagentów w układach technicznych pozwala na dostosowanie dawki optymalnej koagulantu do aktualnej jakości wody surowej w sposób pozwalający na automatyzację tego procesu.
2. Wprowadzenie do modeli wskazań uzyskanych z Analizatora Prądu Strumieniowego jako wartości bazowej dawki koagulantu powinno pozwolić na łatwiej-

sze utrzymanie dawki optymalnej w przypadku zmian jakości wody, które nie pojawiły się w zakresie danych wykorzystywanych do kalibracji modelu oraz pozwoli zmniejszyć błąd predykcji dzięki temu, że wynikiem działania modelu będzie jedynie wielkość wymaganej korekty dawki a nie cała jej wartość.

3. Spośród zakresu wykorzystywanych metod pomiarowych na szczególną uwagę zasługują pomiary spektrofotometryczne w zakresie nadfioletu dla oceny ilościowej związków organicznych oraz pomiary liczby i rozkładu wielkościowego cząstek dla oceny przebiegu flokulacji oraz separacji zawiesin pokoagulacyjnych.

Bibliografia

- [1] Bernhardt H., Schell H., Control of flocculants by use of a streaming current detector. *J. Water SRT-Aqua*, 1993, 42 239–251
- [2] Bernazeau F., Pierrone P., Duguet J.P. Interest in using a streamline current detector for automatic coagulant dose control. *Water Supply*, 1992, 10 (4) 87-96
- [3] Critchley R.F., Smith E.O., Pettit P. Automatic coagulation control at water-treatment plants in the north-west region of England. *J Inst Water Environ Manag.*, 1990, 4(6) 535–543
- [4] Dentel K.S. Coagulation control in water treatment. *Crit. Rev. Environ. Control*, 1991, 21 41-135
- [5] Dentel K.S. Use of streaming current detector in coagulation monitoring and control. *J Water SRT – Aqua*, 1995, 44 70-79
- [6] Dentel K.S., Thomas AV, Kingery K.M. Evaluation of the streaming current detector. I. Use in jar tests. *Water Res.*, 1989, 23(4) 413–421
- [7] Han TH et al. Optimization of coagulant dosing process in water purification system. *Proceedings of SICE annual conference, Tokushima, Japan, July 29–31 1997*, 1105–1109
- [8] Kawamura S., Hanna G.P., Shumate K.S. Application of colloid titration technique to flocculation control, *J. Am. Water Works Assoc.*, 1967, 59 1003–1013
- [9] Kawamura S., Tanaka Y. Applying colloid titration techniques to coagulant dosage control. *Water Sewage Works*, 1966, 113 348–357
- [10] Langergraber, G., Weingartner, A., Fleischmann, N. Time-resolved delta spectrometry: A method to define alarm parameters from spectral data. *Water Science & Technology*, 2004, 50(11) 13-20
- [11] Lind C. Coagulation control and optimization: part one. *Public Works*, 1994, 125(11) 56–57
- [12] Łaszcz W. Biłozor S., Zastosowanie prądu strumieniowego (SCD) w sterowaniu procesem koagulacji – przykłady rozwiązań w wybranych wodociągach polskich, *XVIII-th National, VI-th International Scientific And Technical Conference WATER SUPPLY AND WATER QUALITY, 6-8 September 2004, Poznań*

- [13] Maier H.R., Morgan N., Chow C.W.K. Use of artificial neural networks for predicting optimal alum doses and treated water quality parameters. *Environmental Modelling & Software*, 2004, 19 485–494
- [14] Mrkva M., Automatic U.V.-control system for relative evaluation of organic water pollution, *Water Res.*, 1975, 9, 587–589
- [15] Nahm E.S. et al Development of an optimum control software package for coagulant dosing process in water purification system. *Proceedings of SICE Annual Conference, Tottori, Japan, 24–26 July 1996*, 1157–1161
- [16] Walker C. A., Kirby J. T., Dentel S.K. The Streaming Current Detector: A Quantitative Model. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1996, 182 71–81