

Uzdatnianie barwnych wód podziemnych

Treatment of groundwater with high color matter

Dorota Holc

Streszczenie

Usuwanie barwy z wody podziemnej jest nadal dużym problemem dla stacji uzdatniania wody. Skuteczne oczyszczanie wód barwnych jest niemożliwe w tradycyjnych układach technologicznych. W artykule przedstawiono ogólną charakterystykę związków humusowych powodujących barwę wody. Omówiono także procesy jednostkowe stosowane na stacjach uzdatniania wody do usuwania barwy. Zaprezentowano również wyniki badań przedprojektowych przeprowadzonych w celu wybrania najlepszej technologii uzdatniania wody podziemnej o podwyższonej barwie.

Abstract

Removal of color from underground water is still a big problem for water treatment plants. Effective cleaning of color waters is impossible in traditional technological systems. The article presents the general characteristics of humic compounds that cause the color of water. The unit processes used at water treatment stations for color removal are also discussed. Also presented are the results of pre-design studies carried out in order to select the best technology for treating groundwater of increased color.

1. Wprowadzenie

Woda przeznaczona do spożycia przez ludzi powinna spełniać wymagania bezpieczeństwa dla zdrowia oraz być odpowiedniej jakości pod względem wyglądu, zapachu i smaku. Użytkownicy oceniając jakość wody polegają na parametrach organoleptycznych, w szczególności na jej właściwościach optycznych. Woda charakteryzująca się dużą mętnością lub intensywnym kolorem jest nieakceptowalna przez konsumentów.

Barwa wody wywoływana jest najczęściej rozpuszczonymi związkami organicznymi, w tym głównie substancjami humusowymi, oraz podwyższoną zawartością żelaza i manganu [1].

Związki humusowe występują powszechnie w wodach naturalnych. Do wód podziemnych dostają się one z brunatnowęglowych formacji lub na skutek ługowania humusu z gleb bogatych w próchnicę. Ich zawartość w wodzie zależy przede wszystkim od rodzaju gleby, składu chemicznego, czasu kontaktu oraz odczynu pH wody. Związki humusowe mogą występować w wodach w formie rozpuszczonej, koloidalnej, jak również jako domieszki nierozpuszczalne. Budowa chemiczna oraz wzory strukturalne substancji humusowych nie zostały jeszcze

dobrze poznane. Ze względu na podatność na rozpuszczanie w wodzie i alkoholu, związki humusowe dzieli się na:

- kwasy fulwowe – rozpuszczalne w wodzie, alkoholach, alkaliach oraz kwasach mineralnych;
- kwasy huminowe – rozpuszczalne w wodnych roztworach alkaliów;
- kwasy humatomelanowe – rozpuszczalne w alkoholach.

W wodach powierzchniowych dominują kwasy fulwowe i ich sole, natomiast w wodach podziemnych przeważają kwasy huminowe.

Związki humusowe są źródłem niepożądanego zapachu oraz barwy wody. Ponadto łątwo reagują z innymi domieszkami obecnymi w wodzie i mogą być nośnikami zanieczyszczeń niebezpiecznych dla zdrowia. W przypadku chlorowania wody zawierającej w swoim składzie związki humusowe powstają szkodliwe trihalometany (THM), dlatego istotne jest ich dokładne usunięcie z wody [2, 3].

Efektywność poszczególnych procesów w usuwaniu związków humusowych zależy od: rodzaju i zawartości kwasów humusowych, stężenia związków manganu i żelaza oraz od ogólnych właściwości wody i jej podatności na oczyszczanie. Podstawowy schemat uzdatnia-

nia wody podziemnej oparty na napowietrzaniu i filtracji wody na jednym lub dwóch stopniach, pozwala na skuteczne usunięcie utlenionych związków żelaza, a także związków manganu (dzięki zastosowaniu złoża o właściwościach katalitycznych), jednak układy takie rzadko są w stanie skutecznie usunąć z wody substancje humusowe [4, 5].

W niniejszej pracy omówiono problem uzdatniania wody podziemnej o podwyższonej barwie oraz przedstawiono doświadczenia z badań technologicznych przeprowadzonych na stacji uzdatniania wody.

2. Metody usuwania substancji humusowych z wody

2.1. Koagulacja

Wiele badań prowadzonych nad usuwaniem związków humusowych z wody potwierdziło skuteczność procesu koagulacji. Związki humusowe mają charakter kwasowy i z solami glinu i żelaza tworzą nierozpuszczalne sole, które następnie można odseparować w typowych procesach technologicznych stosowanych w stacjach uzdatniania wody. W przypadku usuwania związków humusowych w procesie koagulacji, często wymagane są większe dawki reagentów niż przy koagulacji cząstek odpowiedzialnych za mętność wody. Skuteczność wytwarzania osadów jest także większa w środowisku obojętnym lub lekko kwaśnym (optymalny odczyn pH = 6,8). Związki humusowe wykazują dużą aktywność i zdolność sorpcyjną w stosunku do innych zanieczyszczeń. Dzięki temu usuwanie ich w procesie koagulacji wpływa także korzystnie na eliminowanie z wody, np. metali ciężki czy pestycydów [5, 6].

2.2. Adsorpcja

Najlepszym adsorbentem substancji organicznych jest węgiel aktywny. Proces adsorpcji można prowadzić dwoma metodami:

- dawkowanie pylistego węgla aktywnego, a następnie odseparowanie cząstek węgla z za-

adsorbowaną materią organiczną w procesach sedymentacji i filtracji;

- adsorpcja na filtrach pospiesznych wypełnionych granulowanym węglem aktywnym.

Obie metody są jednak dosyć kosztowne. Po wykorzystaniu zdolności adsorpcyjnych węgla aktywnego konieczna jest jego całkowita wymiana. Również dawkowanie węgla pylistego wiąże się z dużymi kosztami, zależnymi od dawki węgla.

2.3. Utlenianie chemiczne

Działając silnymi utleniaczami na związki humusowe można rozbić grupy chromoforowe odpowiadające za barwę wody. Wstępne utlenianie powoduje zazwyczaj zmniejszenie intensywności barwy wody, nie jest to jednak równoznaczne z pełnym utlenieniem substancji odpowiedzialnych za barwę. Skuteczność metody zależy od rodzaju i dawki utleniacza. Do utlenienia związków humusowych praktycznie nadają się: ozon, dwutlenek węgla i manganian(VII) potasu. Nie wolno stosować chloru, z uwagi na niebezpieczeństwo powstawania produktów ubocznych chlorowania – trójhalemetanów [2, 5].

2.4. Biodegradacja

Związki humusowe są słabo podatne na adsorpcję, lecz łatwo ulegają biodegradacji. Proces biodegradacji jest najczęściej prowadzony na filtrach biologicznie aktywnych. Na początku pracy filtrów dominuje proces adsorpcji. W miarę upływu czasu i zaadsorbowania zanieczyszczeń, w złożu filtracyjnym następuje rozwój bakterii heterotroficznych pochodzących z uzdatnianej wody. Bakterie utleniają zaadsorbowane wcześniej substancje, przyczyniając się do odnowienia pojemności adsorpcyjnej złoża.

Niestety, proces ten po pewnym czasie staje się mniej efektywny i może zachodzić konieczność wymiany złoża węglowego. Poprawę skuteczności pracy filtrów biologicznie aktywnych można uzyskać poprzez wstępne ozonowanie wody.

Ozon, powodując rozpad cząsteczek na mniejsze sprawia, że są one łatwiej adsorbowalne i biodegradowalne [2].

2.5. Wymiana jonowa

Związki humusowe, ze względu na charakter kwasów organicznych, można usuwać w procesie wymiany jonowej na silnych anionitach. Po wykorzystaniu zdolności wymiennej jonitu, regenerację złoża prowadzi się za pomocą roztworu chlorku sodu z dodatkiem wodorotlenku sodu. Jednak ze względu na wysokie koszty procesu, metoda ta jest rzadko wykorzystywana na stacjach uzdatniania wody dla miejskich wodociągów. Stosuje się ją jedynie przy produkcji wody o wysokich wymaganiach jakościowych.

3. Usuwanie barwy z wody na przykładzie SUW

Analizowana stacja uzdatniania wody zasila w wodę miejską sieć wodociągową. Woda pobierana jest z utworów trzeciorzędowych – mioceńskich przez dwie studnie głębinowe. Wydajność stacji wynosi ok. 60 m³/h. Proces uzdatniania wody jest obecnie prowadzony w dwóch aeratorach ciśnieniowych połączonych równolegle, następnie woda jest filtrowana dwustopniowo w filtrach wypełnionych piaskiem kwarcowym. Schemat technologiczny SUW przedstawiono na rys. 1.

Tlen rozpuszczony wprowadzony podczas napowietrzania utlenia zawarte w wodzie jony żelaza Fe²⁺ do postaci Fe³⁺. Produktem utleniania jest nierozpuszczalny tlenek żelaza (III), który wytrąca się w złożu filtracyjnym, a razem z nim z wody usuwane są częściowo związki humusowe powodujące barwę wody. Woda po procesie napowietrzania jest kierowana na filtry pierwszego stopnia, na których powinno nastąpić zatrzymanie powstałego osadu. Jednak zbyt intensywne napowietrzanie wody w aeratorze powoduje przesylenie wody gazami. W konsekwencji, podczas przepływu wody przez złoża filtracyjne, między ziarnami złoża wydzielają się drobne pęcherzy-



Rys. 1. Schemat technologii uzdatniania wody w SUW

ki gazów, wywołane różnicą ciśnień występującą nad i pod złożem. Gazy te blokują kanaliki i uniemożliwiają równomierny przepływ wody przez złożę. Woda musi przepływać z większą prędkością pozostałymi drożnymi kanalikami. Większa prędkość przepływu powoduje wzrost tzw. sił ścinających i odrywanie osadu odłożonego między ziarnami złoża. Efektem jest tzw. „przebiecie filtra”, czyli systematyczne wymywanie osadu ze złoża. Na drugim stopniu filtracji proces odgazowania jest znacznie mniejszy, dzięki czemu lepiej przebiega proces filtracji. Jednak nie pozwala na uzyskanie niskiej barwy wody uzdatnionej, gdyż w wodzie pozostają jeszcze rozpuszczone związki humusowe.

4. Jakość wody ujmowanej

Przeprowadzono badania jakości wody ujmowanej, dotyczące parametrów fizycznych i chemicznych, a wyniki zestawiono w tab. 1. Porównanie wartości wskaźników objętych badaniem z normami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 7 grudnia 2017 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, umożliwiło ocenę jakości wody i jej przydatność do celów konsumpcyjnych.

Spośród analizowanych parametrów wyraźnie przekroczone są: barwa, żelazo i utlenialność. Woda charakteryzuje się także ponadnormatywną mętnością, jednak związane jest to z obecnością w wodzie jonów żelaza, które po utlenieniu tworzą w wodzie nierozpuszczalne związki.

W wodzie odnotowano także niskie stężenie azotanów, co wskazuje na zachodzenie w głębszych warstwach gleby procesu denitryfikacji. Ma to znaczenie w przypadku napowietrzania w aeratorach ciśnieniowych (takie napowietrzanie jest stosowane obecnie), ponieważ może

prowadzić do podwyższonego stężenia azotu rozpuszczonego w wodzie i w konsekwencji wydzielania się pęcherzyków gazu między ziarnami złoża w filtrze.

Największe przekroczenie norm dotyczy barwy. Jest to parametr, z którym stacja w obecnym kształcie sobie nie radzi. Pod względem bakteriologicznym ujmowana woda nie budzi zastrzeżeń.

Zastosowana technologia uzdatniania wody powinna uwzględniać obniżenie barwy wody do poziomu akceptowalnego.

5. Metodyka badań

Przed wyborem technologii uzdatniania wody na omawianej stacji uzdatniania wody przeprowadzono badania laboratoryjne oraz badania technologiczne w skali pilotowej. Celem badań było określenie efektywności poszczególnych procesów jednostkowych układu technologicznego ze szczególnym uwzględnieniem procesu koagulacji.

W pierwszej kolejności przeprowadzono testy zlewkowe, w których określono przydatność wybranych reagentów w uzdatnianiu ujmowanej wody. Testowanymi reagentami były:

- koagulanty: siarczan glinu oraz koagulanty glinowe o różnej zasadowości grupy PAX;
- utleniacze: manganian(VII) potasu oraz ozon.

W testach koagulantów sprawdzono także wpływ polielektrolitów na proces flokulacji. Analizą objęto działanie flokulantów Superfloc: A150, A130, A110, A100, 8292, 8294, 8298, 8398. Z wymienionych polielektrolitów najlepsze wyniki uzyskano stosując flokulant Superfloc A110 (lub A100) – flokulant na bazie kwasu poliakrylowego PAA.

Z przeprowadzonych testów laboratoryjnych wynika, że najbardziej skutecznym koagulantem do usuwania związków humusowych z badanej wody jest siarczan glinu. Uzyskana dawka wynosiła 3,0 mg Al/dm³, a dodatek niewielkiej ilości polielektrolitu wpływa korzystnie na strukturę tworzących się kłaczków.

Dodatkowo przeprowadzono również badanie, w którym obniżono pH wody ujmowanej do wartości 6,8 i taką próbę poddano koagulacji z zastosowaniem siarczanu glinu. Uzyskane wyniki pokazały, że zakwaszenie wody nie zwiększyło skuteczności usuwania związków humusowych.

W przypadku utleniaczy, dla każdego określono odpowiednią dawkę niezbędną do utlenienia materii organicznej zawartej w wodzie. Następnie porównano stopień redukcji barwy w wyniku utleniania, z wynikami

Tab. 1. Zestawienie istotnych parametrów jakości wody ujmowanej

Wskaźnik	Jednostka	Studia		Norma [7]
		1	2	
Barwa	mg Pt/dm ³	60	180	akceptacja przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian ¹
Mętność	NTU	2	3	akceptacja przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian ²
pH	–	7,2	7,1	6,5÷9,5
Zasadowość	mval/dm ³	6,9	6,8	b.d.
Jon amonowy	mg NH ₄ /dm ³	0,40	0,65	0,50
Azotany	mg NO ₃ /dm ³	< 0,1	< 0,1	50
Twardość ogólna	mg CaCO ₃ /l/dm ³	205	180	60÷500
Żelazo	mg Fe/dm ³	1,9	2,6	0,20
Mangan	mg Mn/dm ³	0,03	0,04	0,05
Utlenialność	mg O ₂ /dm ³	7,9	9,1	5,0

¹ Pożądana wartość tego parametru w wodzie w kranie konsumenta – do 15 mg Pt/l.

² Zalecany zakres wartości do 1,0 NTU.

uzyskanymi dla koagulacji siarczanem glinu.

Dla manganianu(VII) potasu wymagana dawka wynosiła ok. 2,0 mg $\text{KMnO}_4/\text{dm}^3$, a otrzymany stopień redukcji barwy wody był gorszy niż ten uzyskany podczas koagulacji siarczanem glinu. W przypadku zastosowania tego utleniacza konieczne byłoby zastosowanie również procesu koagulacji, co nie miało by uzasadnienia ekonomicznego.

W przypadku ozonu, zastosowanie małych dawek nie pozwoliło na usunięcie barwy wody do zadawalającego poziomu. W trakcie prowadzenia badań zaobserwowano także tworzenie się w wodzie ozonowanej zawiesiny o drobnoziarnistej strukturze, która była podatna na koagulację. Nie był to jednak wynik, który pozwoliłby na uproszczenie technologii uzdatniania wody i obniżenie kosztów jego prowadzenia.

Badania w skali modelowej prowadzono na zestawie dwóch filtrów pospiesznych wypełnionych złożem dwuwarstwowym antracytowo-piaskowym. Złoże filtracyjne składało się z warstwy piasku o uziarnieniu $0,6 \div 1,4$ mm i wysokości 70 cm, na którym znajdowała się warstwa antracytu o uziarnieniu $1,5 \div 2,5$ mm i wysokości 40 cm.

Na pierwszy filtr kierowano wodę po aeracji i koagulacji siarczanem glinu (dawka $3,0 \text{ mg Al}/\text{dm}^3$), z dodatkiem polielektrolitu anionowego Superfloc A110 (dawka $0,4 \text{ mg PAA}/\text{dm}^3$). Na drugi filtr kierowano wodę po aeratorze bez koagulacji. W trakcie badań kontrolowano jakość wody w odpływie i porównywano filtry uzyskane na obu filtrach. Badania przeprowadzono w trzech wariantach:

- dla układu zasilanego wodą ujmowaną ze studni nr 1,
- dla układu zasilanego wodą ujmowaną ze studni nr 2,
- dla układu zasilanego wodą zmieszaną z obu studni.

W tabelach 2 i 3 zestawiono uzyskane wyniki oraz obliczony stopień redukcji dla wybranych parametrów jakości wody.

Tab. 2. Woda po I filtrze (aeracja + koagulacja + filtracja)

Wariant	Parametr	Jednostka	Wartość	Stopień redukcji
Studnia 1	barwa	mg Pt/dm ³	8,0	87%
	mętność	NTU	0,30	85%
Studnia 2	barwa	mg Pt/dm ³	10,0	94%
	mętność	NTU	0,34	89%
Zmieszana	barwa	mg Pt/dm ³	8,57	91%
	mętność	NTU	0,31	86%

Tab. 3. Woda po II filtrze (aeracja + filtracja)

Wariant	Parametr	Jednostka	Wartość	Stopień redukcji
Studnia 1	barwa	mg Pt/dm ³	30,0	50%
	mętność	NTU	0,67	67%
Studnia 2	barwa	mg Pt/dm ³	45,0	75%
	mętność	NTU	0,73	76%
Studnia 1 + 2	barwa	mg Pt/dm ³	35,0	64%
	mętność	NTU	0,69	70%

Uzyskiwana jakość filtratu po filtrze I, na który kierowano wodę po procesie koagulacji, była zadowalająca przez cały czas trwania cyklu filtracyjnego. Uzyskiwana barwa wody, dla każdego z wariantów, nie przekraczała wartości $10 \text{ mg Pt}/\text{dm}^3$, a mętność $0,34 \text{ NTU}$. Jakość wody po procesie filtracji na filtrze II, bez procesu koagulacji, była zdecydowanie gorsza. Barwa wody była kilkukrotnie wyższa niż ta osiągnięta na filtrze I.

6. Zaproponowana technologia uzdatniania wody

Ujmowana woda wymaga obniżenia ponadnormatywnej barwy oraz usunięcia zwiększonej zawartości związków żelaza, z którymi nie radzi sobie stosowany obecnie układ uzdatniania wody. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano technologię uzdatniania wody opartą na: napowietrzaniu, koagulacji, sedymentacji/flotacji oraz filtracji pospiesznej.

Zdecydowano się zamienić stosowane obecnie napowietrzanie ciśnieniowe na napowietrzanie otwarte. W napowietrzaniu otwartym mieszanie wody z powietrzem następuje w układzie bezciśnieniowym. Powietrze rozpuszczające się w wodzie powoduje wyparcie innych gazów w niej zawartych. Pozwala to na wytworzenie równowagi gazowej, w której

do wody wprowadzony zostaje tlen kosztem dwutlenku węgla i azotu, występujących w wodzie ujmowanej w większym stężeniu. Dzięki temu, nie wystąpi przesylenie wody gazami oraz odgazowywanie wody w filtrach, jak ma to miejsce obecnie.

Podstawowa zmiana technologii uzdatniania polega na zastosowaniu procesu koagulacji realizowanego w komorze flokulacji, wyposażonej w mieszadła. Koagulacja może być prowadzona za pomocą siarczanu glinu, a dodatek niewielkiej ilości polielektrolitu wpłynie korzystnie na strukturę tworzących się kłaczków, co pokazały przeprowadzone badania. Na skutek hydrolizy siarczanu(VI) glinu wytrąca się wodorotlenek glinu, który dzięki zastosowaniu wolnego mieszania jest utrzymywany w wodzie w postaci pływających kłaczków. Kłaczki te mają zdolność wyłapywania innych drobnych cząstek zawieszin oraz koloidów, z którymi się zderzają podczas ruchu wody. Do kłaczków wodorotlenku glinu dokleją się wytrącone tlenki żelaza(III) oraz związki humusowe. W efekcie następuje znaczne obniżenie barwy wody. Podczas procesu koagulacji powstaje jednak większa masa osadu niż ma to miejsce w dotychczas stosowanej technologii. Dlatego istotne jest zastosowanie procesu wstępnego usuwania osadu pokoagulacyjnego. To zadanie spełniać może sedymentacja lub flotacja, które powodują

usunięcie z wody nawet ponad 90% zawiesiny. Usuwanie osadu pokoagulacyjnego może zachodzić odpowiednio w osadniku lamelowym lub w flotatorze.

Zaletą osadnika lamelowego jest brak elementów ruchomych, a działanie urządzenia polega na odpowiednim przepływie wody. Jego wadą, natomiast, może być wypływanie części osadu, w przypadku, gdy woda zawiera duże stężenie gazów rozpuszczonych. Może to obniżać efektywność pracy urządzenia i powodować przepływanie kłaczków osadu na filtry.

Alternatywnym rozwiązaniem jest proces flotacji ciśnieniowej realizowany w komorze flotacji. Urządzenie to jest szczególnie polecane w przypadku, gdy osad powstający w procesie koagulacji charakteryzuje się małym ciężarem właściwym lub wręcz ma tendencję do wypływania na powierzchnię wody. Woda po komorze flokulacji kierowana jest do komory flotacji, gdzie następuje oddzielenie zawiesiny pokoagulacyjnej, wyniesionej pęcherzykami powietrza na powierzchnię wody przepływającej przez zbiornik. Wyniesiony flotat zostaje zgarnięty zgarniaczem mechanicznym i usunięty z układu. Zaletą tego urządzenia jest stosunkowo mała powierzchnia, niższe koszty reagentów niezbędnych przy eksploatacji oraz znacznie mniejsza ilość osadów powstających podczas eksploatacji (powstający osad jest mniej uwodniony niż osad z osadnika lamelowego). Wadą tego rozwiązania jest natomiast konieczność stosowania saturatora, w którym następuje nasycenie wody powietrzem pod wysokim ciśnieniem. Ta przesycona woda jest następnie wprowadzana do zbiornika flotacyjnego. Ponieważ woda kierowana do saturatora pochodzi ze zbiornika flotacyjnego, mogą zdarzać się awarie związane z zatkanie dysz. Jednak przy dbaniu o dobry stan techniczny urządzeń awarie są łatwe do usunięcia.

Po wstępnym usuwaniu osadu woda zawierająca resztki zawiesiny zostanie skierowana na filtry pospieszne. W celu zwiększenia skuteczności filtracji i uzyskania

wody o dobrej jakości, należałoby zastosować złożę dwuwarstwowe antracytowo-piaskowe.

W filtrach jednowarstwowych ze złożem kwarcowym, po płukaniu, ziarna złoża układają się od najdrobniejszych na górze do najgrubszych na dole filtra. Zatrzymywanie osadu zachodzi wtedy na powierzchni złoża, gdzie pory są najdrobniejsze. W wyniku odkładania się osadu na powierzchni, wzrasta ciśnienie nad złożem i w efekcie może nastąpić tzw. „przebiecie filtra”, czyli przesunięcie osadu w głąb złoża, gdzie pory między ziarnami są już większe. Istnieje zatem duże prawdopodobieństwo, że wymyty osad wydostanie się razem z filtratem. W filtrze ze złożem dwuwarstwowym pierwszą warstwę stanowi gruboziarnisty antracyt (ziarna o średnicy 1,5÷2,5 mm), pod którym znajduje się drobniejszy piasek (ziarna o średnicy 0,8 ÷ 1,2 mm). Podczas płukania złoża również zachodzi segregacja ziaren, jednak ze względu na znacznie mniejszy ciężar właściwy antracytu, jego ziarna zatrzymują się na warstwie piasku. Takie ułożenie warstw powoduje, że osad pokoagulacyjny wnika w warstwę antracytu i osadza się w dużych porach między ziarnami. Oderwanie się małej porcji osadu powoduje przesuwanie się zanieczyszczeń w głąb, gdzie natrafia on na drobnoziarnisty piasek, który uniemożliwia jego dalsze przenikanie. Dzięki temu potencjalne „przebiecie filtra” jest znacznie mniejsze lub może nastąpić później.

7. Podsumowanie i wnioski

Występowanie substancji humusowych w wodach ujmowanych, powoduje wiele problemów podczas jej uzdatniania. Oczyszczanie wody barwnej wymaga zastosowania procesów jednostkowych niestosowanych w tradycyjnych układach przeznaczonych do uzdatniania wody podziemnej. Woda ujmowana na analizowanej stacji uzdatniania wody charakteryzuje się dużym przekroczeniem barwy, powodowanym przez kwasy humusowe. Stosowany obecnie klasyczny schemat uzdatnia-

nia wody podziemnej, oparty na napowietrzaniu ciśnieniowym i dwóch stopniach filtracji, niepozwala na efektywne usunięcie barwy wody do poziomu akceptowalnego przez konsumentów. Włączenie do układu uzdatniania wody procesu koagulacji pozwoli na efektywne usunięcie barwy wody.

Wybór układu technologicznego przeznaczonego do uzdatniania wód o podwyższonej barwie, powinien zostać każdorazowo poprzedzony badaniami technologicznymi, pozwalającymi określić najlepszą technologię uzdatniania wody.

8. Literatura

- [1] Wons M., Glińska-Lewczuk K., Szymczyk S., Koc J.: *Factors determining the optical properties of underground water intended for human consumption*, Ecological Chemistry and Engineering. A 2014, vol. 21, nr 4.
- [2] Kaleta J.: *Substancje humusowe w środowisku wodnym*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 218, Rzeszów 2008.
- [3] Krupińska I.: *Problemy związane z występowaniem substancji humusowych w wodach podziemnych*, Zeszyty naukowe nr 148, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2007.
- [4] Perchuć M., Jaroszevska M.: *Badania skuteczności wybranych procesów technologicznych w oczyszczaniu wody o dużej intensywności barwy*, Ochrona Środowiska 2007, nr 3.
- [5] Krupińska I.: *Przydatność koagulacji w oczyszczaniu wody podziemnej*, Rocznik Ochrony Środowiska 2012, tom 14.
- [6] Perchuć M., Ziółkowska T.: *Badania nad uzdatnianiem barwnych wód podziemnych*, Ochrona Środowiska 1995, nr 4 (59).
- [7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2017 poz. 2294).

mgr inż. Dorota Holc

Envirotech Sp. z o.o. w Poznaniu
asystent projektanta