

Wiesław Zymon

Zastosowanie procesu napowietrzania do desorpcji dwutlenku węgla z oczyszczonej wody powierzchniowej na przykładzie wodociągu w Dębicy

Zwiększające się wymagania dotyczące jakości wody wodociągowej spowodowały, że w większości układów oczyszczania wód powierzchniowych niezbędne jest stosowanie ciężkiej koagulacji. Proces ten jest w wielu przypadkach prowadzony przy użyciu większych dawek koagulantów niż wymagane do usunięcia zanieczyszczeń i domieszek powodujących mętność wody. [1]. Podczas koagulacji następuje takie naruszenie równowagi węglanowo-wapniowej, w wyniku którego oczyszczona woda nabywa właściwości agresywnych, co powoduje przyspieszenie korozji sieci, instalacji i urządzeń wodociągowych [2]. Produkty korozji przedostają się do wody, stwarzając (okresowo lub ciągle) problemy z dotrzymaniem wymaganej jakości wody u odbiorców. Najczęściej dochodzi do przekroczenia dopuszczalnych wartości takich wskaźników jakości wody, jak mętność i barwa oraz zawartość związków żelaza i manganu, a także miedzi.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [3], woda podawana do sieci powinna być stabilna. Rozporządzenie to nie definiuje jednak wskaźników określających stabilność wody, ani nie odwołuje się do innych uregulowań prawnych.

Wprowadzenie w stacji wodociągowej w Dębicy tzw. gębokiej koagulacji spowodowało znaczną korozyjność wody podawanej do sieci, na skutek czego wystąpiła konieczność usuwania agresywnego dwutlenku węgla z wody [4]. W pracy przeanalizowano możliwości stabilizacji składu chemicznego oczyszczonej wody powierzchniowej, poprzez desorpcję dwutlenku węgla w procesie napowietrzania.

Stabilizacja składu chemicznego wody

Tradycyjna metoda stabilizacji chemicznej, przez dawkanie wapna w postaci wody lub mleka wapiennego podczas koagulacji, w stacji oczyszczania wody w Dębicy była niemożliwa do zastosowania, ponieważ korekta pH wody do wartości powodującej jej stabilność powodowała znaczne zmniejszenie skuteczności usuwania zanieczyszczeń z wody w procesie koagulacji. Z tego powodu, a także z uwagi na znaczne nakłady potrzebne na urządzenia do wytwarzania i dawkowania wody wapiennej, jak również znane trudności w eksploatacji tych urządzeń (wydzielanie się złożeń osadów w przewodach instalacyjnych), odrzucono zastosowanie wapna do

stabilizacji wody. Również ze względów ekonomicznych i eksploatacyjnych odrzucono metodę stabilizacji składu wody ługiem sodowym, natomiast do dalszych rozważań porównawczych pozostawiono wykorzystanie do tego celu węglanu sodu (Na_2CO_3).

Fizyczna metoda stabilizacji składu wody polega na desorpcji agresywnego dwutlenku węgla z wody do powietrza. Proces desorpcji może być realizowany w różnych urządzeniach. Ze względu na najszerszy zakres zastosowania oraz możliwość uzyskania dużej skuteczności usuwania dwutlenku węgla rozważono zastosowanie urządzenia kolumnowego z wypełnieniem i wymuszonym przepływem powietrza. Sposób wymiarowania tego typu urządzeń do desorpcji dwutlenku węgla podano w pracach [5,6]. Dodatkowym argumentem przemawiającym za zastosowaniem takiego rozwiązania w Dębicy był fakt, że w układzie technologicznym analizowanej stacji oczyszczania wody była możliwość zaadaptowania istniejącego układu urządzeń do realizacji desorpcji kolumnowej. Elementami możliwymi do wykorzystania były komory pompowe, pompy oraz nieeksploatowany filtr stalowy o średnicy 3 m. Zastosowanie metody desorpcji dwutlenku węgla z wody porównano z jego chemicznym wiązaniem przy pomocy węglanu sodu.

Charakterystyka jakości wody

Na podstawie wyników analiz ujmowanej wody (pH, temperatura, zasadowość i twardość ogólna, twardość wapniowa, przewodność właściwa, substancje rozpuszczone) wyznaczono korelację pomiędzy zawartością substancji rozpuszczonych i przewodnością właściwą oraz między twardością ogólną i twardością wapniową. Pozwoliło to na określenie wartości indeksu nasycenia wody zgodnie z PN-72 C-04609. Indeks nasycenia wody surowej miał zawsze wartość dodatnią, co oznaczało brak agresywności tej wody. Z nomogramu do obliczania form dwutlenku węgla w zależności od pH i zasadowości ogólnej wynikało, że w wodzie surowej nie ma agresywnego dwutlenku węgla. Taka sytuacja była spowodowana tym, że woda do pompowni jest transportowana lewarem, w którym następuje częściowe odgazowanie wody. Przyjęto, że zawartość agresywnego dwutlenku węgla w wodzie surowej wynosi zero. Przyrost agresywnego dwutlenku węgla w wodzie po koagulacji spowodowany jest zmniejszeniem zasadowości wody w wyniku hydrolizy koagulantu i zależy od rodzaju koagulantu oraz jego dawki. W stacji oczyszczania wody w Dębicy do koagulacji stosowany jest siarczan glinu oraz wysoko zhydrolizowany polimer glinowy. Reagenty te

są stosowane oddzielnie lub wspólnie. Wspólne zastosowanie obu środków następuje w przypadku wody o zwiększonej mętności i intensywności barwy. Maksymalne zmniejszenie zasadowości ogólnej wody wynosi obecnie $0,25 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$. Na podstawie analizy rozkładu wartości zasadowości wody surowej wyznaczono zasadowość średnią – $160 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$, przy czym około 3% ogólnej liczby pomiarów w ciągu roku mieściło w przedziale wartości $75+115 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$, a 1,5% w przedziale $90+105 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$. Najniższe wartości występowały w okresie intensywnych roztopów oraz przy stanach powodziowych w rzece. Woda charakteryzowała się wówczas dużą mętnością oraz temperaturą około 5°C . Są to warunki ekstremalne do prowadzenia procesu desorpcji. Zasadowość wody po koagulacji mieści się w przedziale $45+85 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$. Zawartość przynależnego dwutlenku węgla, odpowiadająca zasadowości ujmowanej wody $90+105 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$ (1,5% pomiarów), wynosiła $1+2 \text{ gCO}_2/\text{m}^3$. Taka zawartość końcowa dwutlenku węgla w wodzie może wystąpić w warunkach najbardziej niekorzystnych do prowadzenia procesu desorpcji.

Założenia projektowe

Podstawowym zagadnieniem projektowym było określenie wysokości złoża w kolumnie desorpcyjnej [6,7]. Założono, że wypełnieniem kolumny będą pierścienie Białeckiego o wymiarach $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$, wykonane z polipropylenu. Przyjęto następujące parametry projektowe: maksymalna wydajność stacji oczyszczania wody – $650 \text{ m}^3/\text{h}$, powierzchnia przekroju adaptowanej kolumny – 7 m^2 , gęstość zraszania – $93 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, zawartość początkowa dwutlenku węgla w wodzie – $25 \text{ gCO}_2/\text{m}^3$, założona zawartość końcowa – $1,0 \text{ gCO}_2/\text{m}^3$. W tabeli 1 przedstawiono wysokości wypełnienia przy różnej końcowej zawartości dwutlenku węgla i różnym stosunku objętościowych powietrza do wody. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wysokość wypełnienia w warunkach ekstremalnych powinna wynosić ok. 1,4 m, a przy założeniu końcowej zasadowości wody około $100 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$ niezbędna wysokość wypełnienia zmniejsza się do ok. 0,8 m. Ponieważ zasadowość wody mniejsza od $100 \text{ gCaCO}_3/\text{m}^3$ może wystąpić średnio tylko przez ok. 11 dni w roku (3% pomiarów), przyjęto wysokość wypełnienia pierścieniami równą 0,8 m. Wynika stąd, że średnio w ciągu 11 dni w roku maksymalna zawartość agresywnego dwutlenku węgla w wodzie będzie wynosiła około $1 \text{ gCO}_2/\text{m}^3$.

Porównanie chemicznej i fizycznej metody stabilizacji składu wody

Objętość zbiorników do rozpuszczania i magazynowania roztworu węglanu sodu byłaby porównywalna z objętością kolumny desorpcyjnej. Metoda chemiczna wymagałaby zastosowania urządzeń mechanicznych w postaci mieszadła i pompy dawkującej ze sterownikiem, natomiast metoda fizyczna wymaga zastosowania jedynie pompy podnoszącej wodę na kolumnę oraz wentylatora.

Urządzenia do rozpuszczania, magazynowania i dawkowania węglanu sodu muszą być usytuowane w pomieszczeniu zamkniętym. Konieczne jest wybudowanie pomieszczenia ogrzewanego. Kolumna desorpcyjna po ociepleniu mogłaby stać na wolnym powietrzu. Konieczna byłaby budowa komory pompowej z systemem połączeń z obecnym układem przepływowym stacji.

Tabela 1. Wymagana wysokość wypełnienia desorbera w zależności od założonej zawartości dwutlenku węgla, temperatury wody oraz stosunku objętościowego powietrze/woda

Zasadowość, $\text{gCaCO}_3/\text{m}^3$		75			100		
Zawartość końcowa dwutlenku węgla, gCO_2/m^3		1,0			2,0		
Powietrze/woda		4	6	8	4	6	8
Wysokość wypełn., m	temp. 4°C	1,32	1,10	1,08	0,92	0,80	0,78
	temp. 10°C	0,72	0,60	0,59	0,50	0,44	0,43

Obie metody wymagają pomiaru pH wody po procesie. W metodzie chemicznej dodatkowym elementem jest regulator sterujący pracą pompy dawkującej. W metodzie fizycznej konieczny jest pomiar poziomu wody w komorze pompowej. Sterowanie natężeniem przepływu strumieni będzie realizowane przez regulatory znajdujące się w przemiennikach częstotliwości zasilających pompę i wentylator.

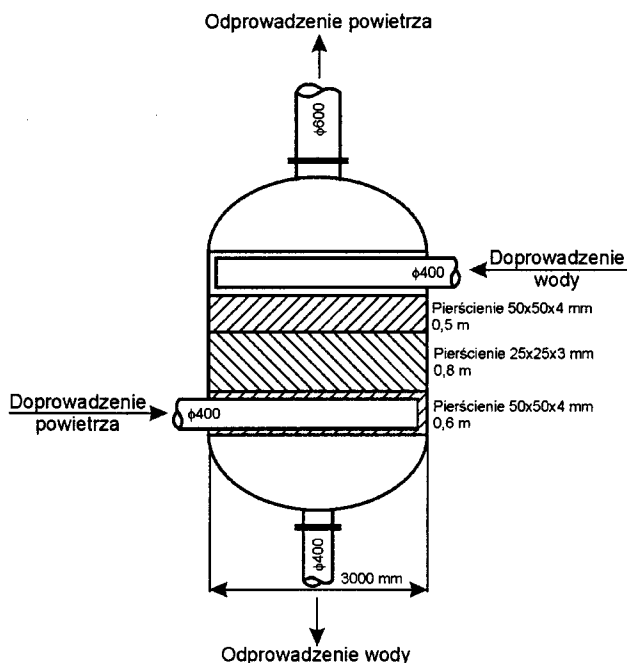
W metodzie chemicznej konieczne jest obsługa urządzeń do rozpuszczania węglanu sodu oraz jego magazynowanie, natomiast urządzenie do desorpcji nie wymaga obsługi.

Oceniając ekonomikę obu procesów założono, że średnia ilość usuwanego dwutlenku węgla z wody wynosi $15 \text{ mgCO}_2/\text{m}^3$. Do chemicznego związania 1 kg CO_2 potrzeba około 1,7 kg Na_2CO_3 . Usunięcie tej samej ilości CO_2 metodą desorpcji wymaga zużycia energii około 0,75 kWh. Zakładając koszt zakupu i dostawy węglanu sodu około 0,9 zł/kg Na_2CO_3 , koszt usunięcia 1 kg CO_2 wyniesie ok. 1,5 zł. Przy cenie zakupu energii około 0,25 zł/kWh koszt usunięcia 1 kg CO_2 wyniesie 0,20 zł. Przy średniej produkcji i dobowej wody 10 tys. m^3/d , roczne koszty związane z przeprowadzeniem stabilizacji wody metodą chemiczną wyniosą około 50 tys. zł, natomiast metodą fizyczną około 11 tys. zł.

Dodatkową korzyścią wynikającą z zastosowania napowietrzania wody do desorpcji dwutlenku węgla jest usunięcie substancji powodujących zapach wody oraz innych lotnych substancji, jak np. chloroformu. W kolumnach tego typu można również usuwać z powietrza ozon resztkowy. Odpowiednio zaprojektowana kolumna desorpcyjna może służyć również do wprowadzania ozonu do wody.

Adaptacja filtra i sterowanie procesem desorpcji

Zaadaptowany zbiornik filtracyjny od wewnątrz wypiasowano oraz usunięto dysze z jego dna. Powierzchnia otworów w dnie była wystarczająca do swobodnego przepływu wody. Króciec włazowy w górnej części zbiornika wykorzystano do połączenia z kominkiem na dachu odprowadzającym powietrze. Drugi króciec włazowy z boku filtra posłużył do wprowadzenia powietrza przy pomocy rury perforowanej. Na dnie sitowym zbiornika umieszczono pierścienie Białeckiego o wymiarach $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, wykonane z polipropylenu. Wysokość wypełnienia została tak dobrana, aby pierścienie znajdowały się 0,1 m powyżej rury perforowanej wprowadzającej powietrze do kolumny. Zadaniem tej warstwy pierścieni jest podtrzymanie właściwego wypełnienia pierścieniami Białeckiego o wymiarach $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ i wysokości 0,8 m. Na właściwe złożo nasypało warstwę pierścieni Białeckiego o wymiarach $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ o wysokości 0,5 m, której zadaniem było równomierne rozprowadzenie wody na powierzchni złoża (rys. 1). Nad tą warstwą umieszczono ruszt rozprowadzający złożony z rury centralnej



Rys. 1. Schemat desorbera dwutlenku węgla

o średnicy 400 mm oraz sześciu perforowanych ramion. Ruszt połączono z rurociągiem doprowadzającym wodę o średnicy 400 mm. Zwiększono średnicę króćca spustowego do 400 mm i połączono go z odprowadzeniem wody do zbiornika wody czystszej.

Wydajność stacji oczyszczania wody zmienia się w zakresie 150+650 m³/h. Wydajność pomp podających wodę do desorbera sterowana jest przez zmianę częstotliwości prądu zasilającego pompy. Układ sterowania składa się z pomiaru wysokości wody w zbiorniku pompowym – sygnał z urządzenia podawany jest do sterownika falownika. Program sterownika zmienia wydajność pomp w celu utrzymania stałej wysokości wody w zbiorniku pompowym. Układ sterowania jakością wody składa się z pomiaru pH wody po kolumnie desorpcyjnej – sygnał z urządzenia podawany jest do sterownika falownika. Program sterownika dostosowuje natężenie przepływu powietrza do zadanego pH wody. Zmiana natężenia przepływu powietrza realizowana jest przez zmianę częstotliwości prądu zasilającego wentylator. Zadawane pH wody (pH nasycenia) określone jest na podstawie analizy wody zgodnie z PN-72 C-04609.

Tabela 2. Zestawienie wskaźników jakości wody surowej z indeksami nasycenia, przy których nie osiągnięto stabilizacji składu wody

Data	Temperatura wody °C	Zasadowość wody po filtracji gCaCO ₃ /m ³	Indeks nasycenia przed desorpcją	Indeks nasycenia po desorpcji
03-03-2006	9,3	70,0	-1,06	-0,33
24-03-2006	5,9	85,0	-1,18	-0,31
29-03-2006	6,0	65,0	-1,24	-0,30
30-03-2006	7,0	62,0	-1,42	-0,32
31-03-2006	9,4	50,0	-1,68	-0,42
02-06-2006	12,5	70,0	-1,45	-0,35
05-06-2006	12,5	42,5	-2,37	-0,82
06-06-2006	12,0	45,0	-1,71	-0,42
07-06-2006	13,0	85,0	-1,22	-0,12

Podsumowanie

Przedstawione w tabeli 2 wartości indeksu nasycenia wskazują, że – zgodnie z przewidywaniami – przy niskiej temperaturze oraz zasadowości wody mniejszej od 100 gCaCO₃/m³ układ nie ma możliwości usunięcia dwutlenku węgla do wartości zapewniającej uzyskanie pH nasycenia. Przeprowadzona analiza porównawcza metod stabilizacji składu wody oczyszczonej w procesach koagulacji i filtracji wykazała, że lepszym rozwiązaniem było zastosowanie metody desorpcji dwutlenku węgla przy użyciu wysokoefektywnego wypełnienia, niż metody chemicznej opartej na jego wiązaniu węglanem sodu. Rozwiązania przyjęte w trakcie adaptacji kolumny filtracyjnej, takie jak wprowadzenie powietrza do warstwy wypełnienia o dużym rozmiarze, rozprowadzenie wody na całą powierzchnię poprzez zastosowanie wypełnienia w postaci pierścieni Białeckiego spełniły swoją funkcję. Zgodnie z obliczeniami projektowymi, niecałkowite spełnienie wymogów dotyczących stabilizacji składu wody miało miejsce dwukrotnie w 2006 r., gdy wystąpiły wody powodziowe o mętności w zakresie 2000+3000 NTU, wymagających stosowania dużych dawek reagentów w procesie koagulacji. Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne stacji oczyszczania wody w Dębicy wykazały, że metodę desorpcji dwutlenku węgla można stosować do stabilizacji agresywnych wód powierzchniowych.

LITERATURA

1. W. ZYMON: Wpływ warunków hydrolizy soli glinu na efekty procesu koagulacji w uzdatnianiu wód. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Monografia 313, Kraków 2004.
2. M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ, M. WOLSKA: Korozyjność wody wodociągowej a zjawiska zachodzące w systemie dystrybucji. Gaz Woda i Technika Sanitarna, 2003, nr 1, ss. 10–15(21).
3. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. DzU nr 61, poz. 417.
4. W. ZYMON: Badania wraz z analizami technicznymi usuwania agresywnego dwutlenku węgla i innych lotnych substancji z wody przy zastosowaniu desorpcji powietrzem na stacji uzdatniania wody w Dębicy przy ul. Kwiatkowskiego 4. Politechnika Krakowska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Kraków 2004 (praca niepublikowana).

5. W. ZYMON, A. BIELSKI: Projektowanie kolumnowych desorberów dwutlenku węgla z wody. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 1990, nr 8, ss. 151–154.

6. W. ZYMON, A. BIELSKI: Analiza możliwości stabilizacji agresywnych wód powierzchniowych. *Ochrona Środowiska*, 1991, nr 2, ss. 25–28.

Zymon, W. The Use of the Aeration Process for the Desorption of Carbon Dioxide from Surface Water: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2007, Vol. 29, No. 4, pp. 65–68.

Abstract: With the Waterworks of Debica as a case in point, the paper addresses the problem of stabilizing the chemical composition of the water whose aggressive character is attributable to the high coagulant doses applied in the course of the treatment process. Two methods for the removal of aggressive carbon dioxide, a chemical one (dosage of sodium carbonate) and a physical one (aeration), were made subject to analysis in view of their efficiencies. Taking into account the efficiencies of the two processes and the operating conditions at the water

treatment station, the method of carbon dioxide desorption (with air in a column desorber packed with Bialecki rings) was chosen. Upon setting the desired quality of the treated water, the basic design parameters of the desorption column for carbon dioxide removal were determined. It was also shown how to adapt an idle filter column in order to make it act as a desorber. The analysis of a one-year operation of the unit for carbon dioxide removal from water at the Waterworks of Debica has substantiated the efficiency of the design adopted.

Keywords: Aggressive carbon dioxide, aeration, desorption, chemical stability of water.