

**Joanna JEŻ-WALKOWIAK<sup>1</sup>, Marek M. SOZAŃSKI<sup>1</sup>,  
Łukasz WEBER<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institut Inżynierii Środowiska  
Politechnika Poznańska  
Poznań*

<sup>2</sup>*Mikrosil Polska Sp z o.o.  
Zespół Specjalistów ds. Badań i Wdrożeń  
Radom*

## **BADANIA PILOTOWE NAD DOBREM KOAGULANTÓW I UTLENIACZY NA SUW ODRA (ŚWINOUJŚCIE)**

THE PILOT STUDIES ON COAGULENT AND OXIDANTS SELECTION  
ON WTP „ODRA” IN ŚWINOUJŚCIE

### **1. Wprowadzenie**

Stacja Uzdatniania Wody „Odra” jest jednym z trzech obiektów uzdatniających wodę na potrzeby miejscowości Świnoujście. Została zlokalizowana w prawobrzeżnej części miasta.

Stacja uzdatnia wodę pochodzącą z ujęć czwartorzędowych, część ujmowanej wody pochodzi z zasobów dobrej jakości – ujęcie „Wydmy”, reszta ujmowanej wody pochodzi z zasobów o bardzo złej jakości – ujęcie „Odra”.

Przed modernizacją układ technologiczny opierał się o następujące procesy jednostkowe: napowietrzanie ciśnieniowe (aerator ciśnieniowy), retencja w komorze reakcji wody napowietrzanej, filtracja ciśnieniowa, jednostopniowa, na filtrach dwupółkowych, wypełnionych piaskiem kwarcowym, naturalnie uaktywnionym. Efekty uzdatniania wody zależały mocno od tego, które ujęcie było eksploatowane. Jeśli eksploatowane było ujęcie „Wydmy” uzdatniona woda spełniała wymagania stawiane wodzie do picia. Gdy do pracy załączano studnie ujęcia „Odra” osiągnięte efekty uzdatniania były niezadowalające. Niestety zasoby dobrego surowca (ujęcie Wydmy) nie są wystarczające by zaspokoić potrzeby odbiorców, dlatego konieczne jest (zwłaszcza latem) załączanie studzien ujęcia Odra. W związku z powyższym zdecydowano o podjęciu prac modernizacyjnych układu technologicznego SUW „Odra”.

Prace modernizacyjne poprzedzono badaniami laboratoryjnymi i pilotowymi (przedprojektowymi), które pozwoliły dokładnie ustalić charakterystykę technologiczną jednostkowych procesów uzdatniania.

Wstępna analiza technologiczna ujmowanej wody pod kątem doboru procesów uzdatniania wskazała, że dla uzdatniania wody gorszej jakości (ujęcie Odra) konieczne

będzie włączenie w układ takich procesów jednostkowych jak: utlenianie chemiczne oraz koagulacja związków nadających wodzie barwę i utlenialność.

Niniejszy artykuł prezentuje wyniki badań nad ustaleniem parametrów procesowych ciągu technologicznego SUW „Odra”.

## 2. Charakterystyka ujmowanej wody i założenia badawcze

SUW „Odra” czerpie wodę z dwóch czwartorzędowych ujęć podziemnych. Jakość ujmowanych wód została przedstawiona w tabeli 1.

Tab. 1. Jakość wody ujmowanej na potrzeby ZUW Odra.

Wskaźnik	Jednostka	Ujęcie Odra		Ujęcie Wydmy	
		Min	Maks	Min	Maks
Mętność	[NTU]	0,00	2,60	0,00	1,70
Barwa	[mgPt/L]	43,0	86,0	7,0	12,0
Odczyn	pH	7,6	8,1	7,1	8,3
Zasadowość	[mgCaCO <sub>3</sub> /L]	160,0	230,0	100,0	110,0
Jon amonowy	[mg/N-NH <sub>4</sub> /L]	1,90	5,50	0,25	1,33
Żelazo	[mgFe/L]	1,24	3,30	0,17	0,40
Mangan	[mgMn/L]	0,51	0,72	0,11	0,21
Utlenialność	[mgO <sub>2</sub> /L]	5,6	17,0	1,8	3,3

Stężenie żelaza i amoniaku w wodzie z niektórych studni ujęcia Wydmy mieści się w normie, a utlenialność osiąga wartość, która wyklucza możliwość występowania związków żelaza i manganu w postaci kompleksów organicznych [1].

W wodzie ze studni ujęcia „Odra” przekroczone są wszystkie wskaźniki: od amoniaku sięgającego 5,5 mgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/L, manganu - do 0,72 mgMn/L, żelaza do 3,3 mgFe/L na utlenialności (do 17,0 mgO<sub>2</sub>/L) i barwie rzeczywistej (do 86 mgPt/L) kończąc.

Największe trudności technologiczne sprawia barwa i utlenialność, które pozostają w ścisłym związku z występowaniem trudnouslywalnych kompleksów organicznych żelaza i manganu [1,4,5].

Również stężenie amoniaku osiąga poziom, przy którym konieczne jest dostarczanie tlenu systemie wielostopniowego napowietrzania [1].

Zarówno ujęcie Odra jak i Wydmy mają pozwolenia wodno – prawne na 60,0 m<sup>3</sup>/h – w sumie 120,0 m<sup>3</sup>/h i takie jest docelowe zapotrzebowanie na wodę ze Stacji Odra.

Zgodnie z postawionymi wymaganiami inwestora zmodernizowany układ technologiczny powinien uzdatniać wodę do parametrów określonych obowiązującymi normami w następujących scenariuszach pracy ujęcia:

- tylko ujęcie Wydmy (a więc woda o najlepszej jakości),
- ujęcie Wydmy i Odra w udziałach 50 %,
- tylko ujęcie Odra.

W związku z powyższym w najtrudniejszym wariantcie technologicznym konieczne jest jednoczesne usuwanie następujących wskaźników:

- żelazo (przy maksymalnych wartościach: 3,30 mgFe/L, średnio 1,50 mg/L)
- mangan (przy maksymalnych wartościach: 0,72 mgMn/L, średnio 0,50 mg/L),
- jon amonowy (przy maksymalnych wartościach: 5,50 mg/L; średnio 2,5 mg/L),
- utlenialność (przy maksymalnych wartościach: 17,0 mg/L, średnio 10,0 mg/L)
- barwa (do 86,0 mg/L, średnio 50,0 mg/L).

Na podstawie analizy parametrów jakości wody surowej podjęto decyzję o zastosowaniu procesu dwustopniowej filtracji przez złożo chalcidonitowe (wysokości złoża: 200 cm na 50 cm warstwie podtrzymującej) [6,7,8,9]. Wyniki badań wykazały, że w tym układzie może być usunięte z wody żelazo i mangan po naturalnym wpracowaniu oraz jon amonowy – przy założeniu międzystopniowego napowietrzania wody). Jednak związki powodujące utlenialność i barwę przechodziły przez złoża filtracyjne. W związku z powyższym podjęto decyzję o wprowadzeniu do systemu technologicznego procesu koagulacji.

Substancje chemiczne prowadzące oraz wspomagające koagulację dobrano w teście naczyniowym [2,3,4,5], a następnie przetestowano na instalacji pilotowej. Przedmiotem niniejszego artykułu są wyniki badań etapu laboratoryjnego.

Badaniom poddano wodę ujmowaną studnią nr 10 – o wartościach parametrów jakości wody na średnim poziomie.

Wykonano serie badawcze z wykorzystaniem następujących koagulantów i utleniaczy: glinian sodu, siarczan glinu, siarczan żelaza, nadtlenek wodoru, nadmanganian potasu.

### 3. Wyniki badań i ich interpretacja

Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów przedstawiających zmianę wartości poszczególnych wskaźników w zależności od rodzaju oraz dawki dawkowanego reagenta.

#### **Seria I – test naczyniowy**

Badania pierwszej serii obejmowały dawkowanie następujących koagulantów:

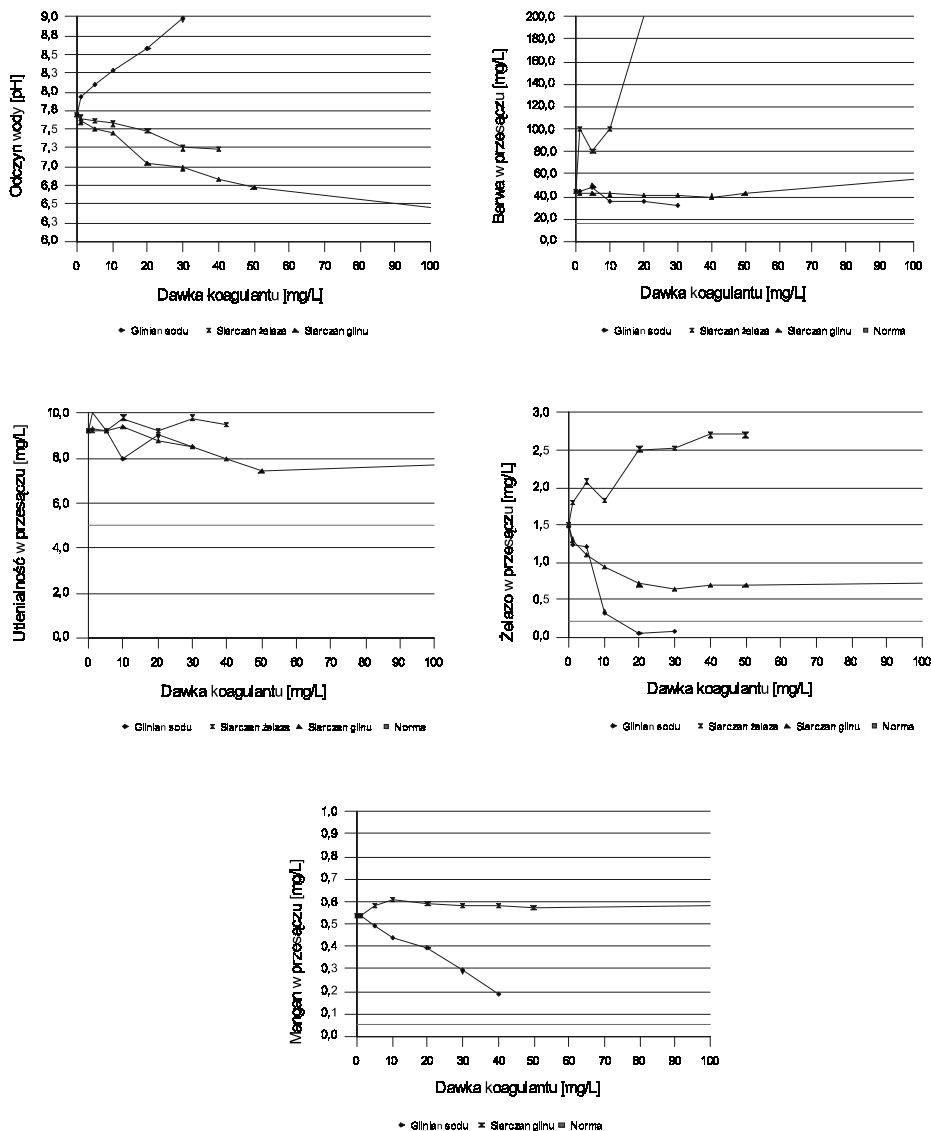
- glinian sodu,
- siarczan glinu,
- siarczan żelaza.

W przesączu mierzono stężenia: żelaza, manganu, barwy, utlenialności oraz pH.

Koagulanty dawkowano w roztworach roboczych do zlewek litrowych, nastawiając szybkie mieszanie przez 1,0 min, a następnie wolne mieszanie przez 30 minut. Po mieszanii następowała sedymentacja oraz dekantacja wody nadosadowej, którą dalej sączono przez sączek jakościowy średni.

Wyniki analiz wskazały na:

- zależność odczynu wody od dawki dawkowanego koagulantu, przy czym:
  - w przypadku dawkowania glinianu sodowego odczyn wzrastał (do pH =9,0 przy dawce 30,0 mg/L)
  - w przypadku siarczanu glinu i siarczanu żelaza odczyn spadał, zdecydowanie intensywniej w przypadku siarczanu glinu),
- brak wyraźnego zmniejszenia barwy wody w każdym z trzech przypadków, mimo dość znacznych dawek zwłaszcza siarczanu glinu (100 mg/L), podczas koagulacji wody o barwie rzędu 40 mgPt/L,
- najwyższą efektywność usuwania barwy uzyskano dla glinianu sodu, niemniej jednak była ona znacznie poniżej oczekiwań (efektywność około 25 %),
- słabe efekty uzyskano przy koagulacji siarczanem żelaza, który tworzył bardzo drobne kłaczkę, przenikające przez sączek, w efekcie czego przesącz miał zdecydowanie wyższą barwę niż woda surowa, wartości przekraczały 200 mgPt/L przy dawkach koagulantu 30,0 mg/L,
- również utleniałość pozostawała na niezmiennym poziomie (niewielki stopień usunięcia tego wskaźnika uzyskano dla siarczanu glinu i glinianu sodu – na poziomie 25 % dla siarczanu glin),
- ciekawie kształtowała się zawartość żelaza w przesączu bowiem w przypadku siarczanu żelaza, zawartość Fe wyraźnie rosła, co było związane z przechodzeniem drobnych wyflokulowanych kłaczek wodorotlenku żelazowego przez sączek,
- w przypadku koagulacji siarczanem glinu nie uzyskano wystarczającego stopnia usunięcia żelaza, stopień usunięcia tego wskaźnika zależał do pewnego momentu od dawki koagulantu, co mogłoby świadczyć o usuwaniu w toku koagulacji także żelaza w połączeniach organicznych,
- najlepsze efekty usunięcia żelaza, dało zastosowanie glinianu sodu, który obniżył zawartość tego wskaźnika do stężenia wymaganego już przy dawce 20,0 mg/L (dla pH 8,6)
- efektywność usuwania manganu z wody zależała od pH, w przypadku zastosowania glinianu sodu, zawartość manganu spadała wraz ze wzrostem odczynu aż do wartości 0,2 mgMn/L przy pH 9,0, natomiast po zastosowaniu siarczanu glinu nie uzyskano obniżenia wartości stężenia manganu.



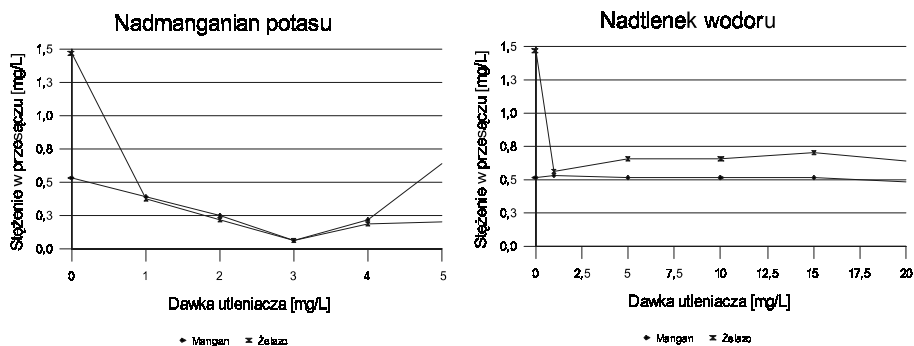
Wykres 1. Wpływ dawki oraz rodzaju koagulantu na odczyn, barwę, utlenialność, żelazo i mangan koagulowanej wody.

Ze względu na brak zadowalających efektów procesu koagulacji w pierwszej serii badań, rozpoczęto badania nad wspomaganiami koagulacji procesem chemicznego utleniania oraz nad dawkowaniem kombinacji dwóch koagulantów.

## Seria II

W serii drugiej przebadano dwa chemiczne utleniacze w celu określenia ich wpływu na efektywność usuwania żelaza i manganu. Wybrano nadtlenek wodoru i nadmanganian potasu.

Na wykresie 2 przedstawiono efektywność utleniania manganu przy zastosowaniu różnych dawek stosowanych utleniaczy.



Wykres 2. Utlenianie manganu i żelaza nadtlenkiem wodoru i nadmanganianem potasu.

### Wnioski:

- zdecydowanie lepsze efekty utleniania manganu otrzymano przy zastosowaniu nadmanganianu potasu,
- zawartość Mn spadła do 0,07 mgMn/L przy dawce 3,0 mg/L nadmanganianu potasu,
- przy wyższych dawkach nadmanganianu potasu stężenie manganu w wodzie wzrastało,
- nadtlenek wodoru nie powodował utleniania manganu z wody surowej, jego zawartość pozostawała na niezmiennym poziomie,
- bardzo interesująco kształtowało się stężenie żelaza w wodzie do której dawkowano nadtlenek wodoru, bez względu na dawkę utleniacza stężenie żelaza w przesączu wynosiło około 0,50 mgFe/L,
- nadtlenek wodoru nie wpływał w żadnym stopniu na barwę, która pozostawała na niezmiennym poziomie, bez względu na dawkę utleniacza,
- nadmanganian potasu, powodował obniżenie barwy – największe przy dawce 3,0 mg/L, dla której efekty w zakresie obniżenia barwy wyniosły 25 %.

### Seria III

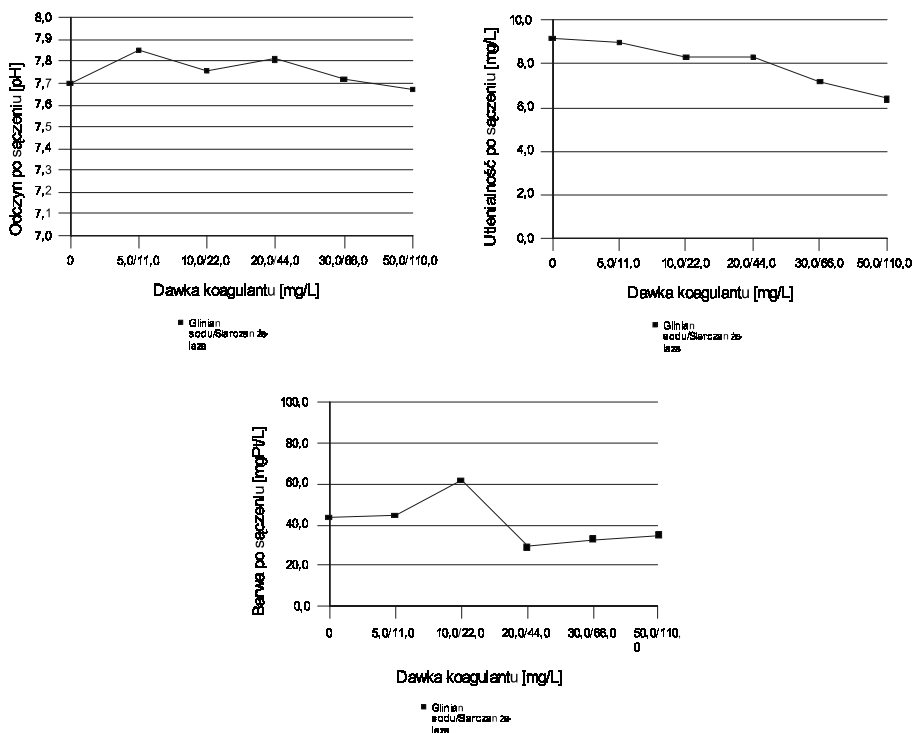
W trzeciej serii badań sprawdzono efekty równoczesnego dawkowania dwóch koagulantów. Zastosowano glinian sodu i siarczan żelaza. Jako kryterium, względem którego ustalano dawkę reagentów wybrano stały odczyn wody. Tj. ustalono taki stosunek obu koagulantów, który nie naruszał naturalnego odczynu wody. Wyniósł on 2,2 (2,2 części siarczanu żelaza na 1 część glinianu sodu).

W pierwszej kolejności do wody dodawano glinian sodu, a następnie odpowiednią ilość siarczanu żelaza. Po 1,0 min szybkiego mieszania, próby poddano wolnemu mieszaniu przez 30 minut.

Wyniki w formie wykresów zamieszczono poniżej.

## Wnioski:

- dobór dawek obu koagulantów pozwolił uzyskać odczyn na stabilnym poziomie, naturalnym dla koagulowanej wody – tj.  $\text{pH}=7,7$ ,
- wraz ze zwiększaniem dawki obu koagulantów spadała utlenialność wody, osiągając minimum przy dawce 50 mg glinianu sodu i 110 mg siarczanu żelaza (III)
- maksymalna efektywność usunięcia związków powodujących utlenialność wyniosła ok 30 %
- mimo, że utlenialność była usuwana to wartość barwy nie ulegała zmianie, barwa pozostawała na średnim poziomie równym 40 mgPt/L,
- również żelazo nie było usuwane w toku koagulacji, co więcej nadal zauważono przechodzenie mikroklaczków przez sącdek, co powodowało wzrost stężenia tego wskaźnika w przesączu.



Wykres 3. Jednoczesna koagulacja wody glinianem sodu i siarczanem żelaza (III)

## Seria IV

Kolejny etap poszukiwań optymalnych warunków koagulacji wody ujmowanej na SUW Odra obejmował ustalenie optymalnego odczynu wody przy stosowanych dawkach dwóch koagulantów. Założenia IV etapu badań wynikały z podstaw teoretycznych i doświadczeń praktycznych, zgodnie z którymi efektywność koagulacji związków humusowych jest największa przy pH wynoszącym około 6,0. Dlatego też do wody dodawano glinian sodu w zadanej dawce 20,0 i 30 mg/L przy której uzyskano najlepsze efekty w pierwszej serii badań, a następnie dodawano siarczan żelaza (III) do uzyskania odczynu, równego:

- 7,5,
- 7,0
- 6,5.

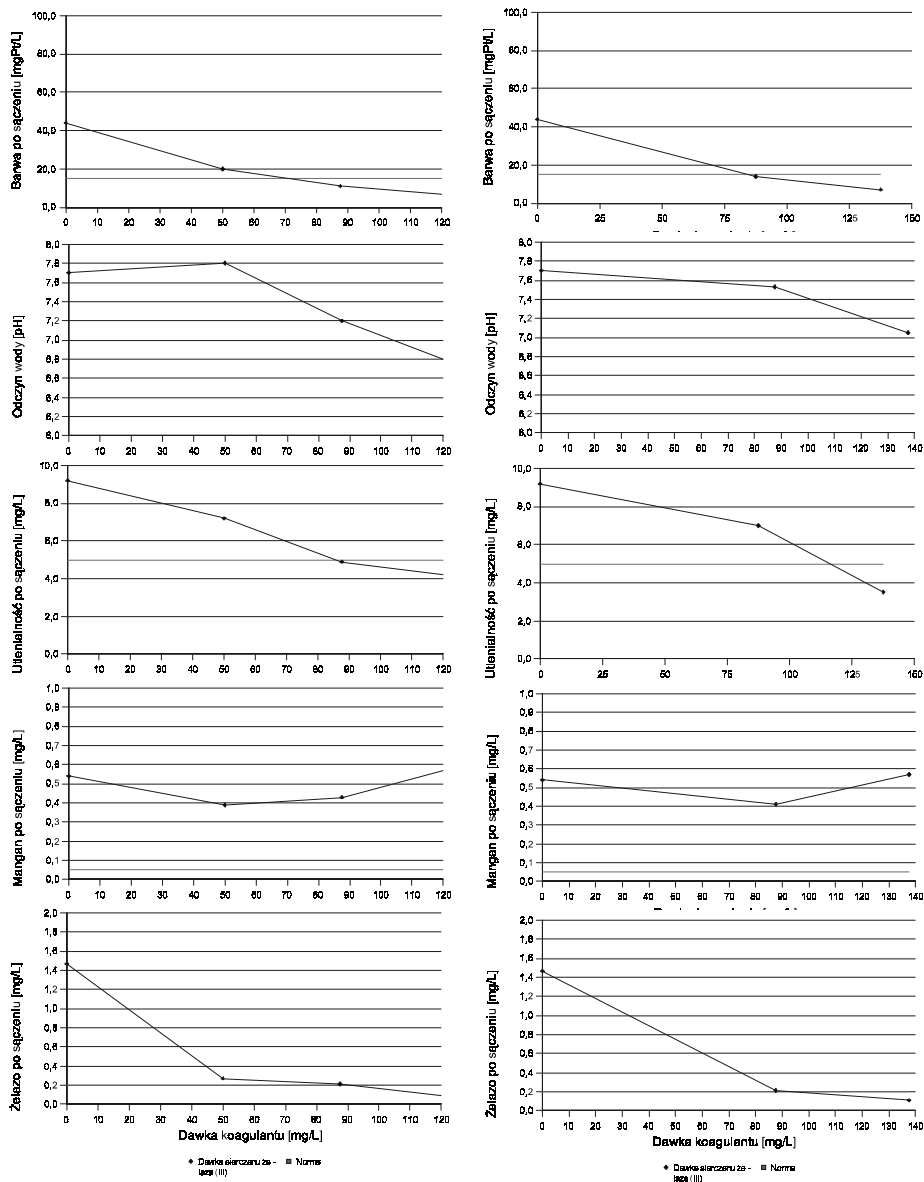
Po dodaniu obu koagulantów, proces szybkiego mieszania, wolnego mieszania i dalej sedymentacji, dekantacji i sączenia przebiegał jak w seriach poprzednich.

Wyniki badań przedstawiono na wykresie 4.

Wnioski płynące z IV etapu badań były następujące:

- dla obu podstawowych dawek glinianu sodu wynoszących 20,0 i 30,0 mg/L uzyskano dopuszczalne wartości utlenialności oraz barwy, przy czym wiązało się to z dawką siarczanu żelaza równą co najmniej:
  - 87,5 mg/L (przy 20,0 mg/L glinianu sodu)
  - 137,5 mg/L (przy 30,0 mg/L glinianu sodu),
- w obu przypadkach odpowiadało to odczynowi wody 7,1–7,2 (skorygowanym siarczanem żelaza),
- najniższe wartości barwy i utlenialności jednocześnie uzyskano dla dawki glinianu sodu równej 20,0 mg/L oraz siarczanu żelaza ok 120,0 mg/L i wynosiły one odpowiednio: dla barwy 7,0 mg/L i dla utlenialności 3,5 mg/L przy odczynie 7,05, efekty były niewiele lepsze niż przy dawce glinianu równej 20,0 mg/L i dawce siarczanu żelaza 120,0 mg/L,
- dla dawki glinianu sodu równej 30,0 mg/L oraz dawki siarczanu żelaza równej 87,5; przy pH 7,5 uzyskano wprawdzie zmniejszenie barwy do wartości dopuszczalnej, ale nie zmniejszała się utlenialność, która przy tych dawkach wynosiła 7,0 mg/L,
- wraz ze spadkiem odczynu wyraźnie spadała efektywność usuwania manganu z wody,
- zwiększeniu dawki siarczanu żelaza towarzyszyło zwiększenie efektów usuwania żelaza, którego stężenie osiągało wartości zgodne z obowiązującymi przepisami dla dawek koagulantów usuwających dodatkowo barwę oraz utlenialność,





Wykres 4. Koagulacja glinianem sodu przy dawce 20,0 i 30,0 mg/L (lewa i prawa kolumna wykresów) oraz siarczanem żelaza do odpowiedniego pH.

Stwierdzony wzrost efektów usuwania barwy i utlenialności, wraz ze zmniejszaniem odczynu wody skłoniły do przebadania procesu koagulacji przy jeszcze niższym pH. Przy czym ze względu na niską efektywność usuwania manganu przy niskim pH wprowadzono do kolejnej serii badawczej nadmanganian potasu – w dawce, która dała najlepsze efekty w serii, w której zastosowano chemiczne utlenianie.

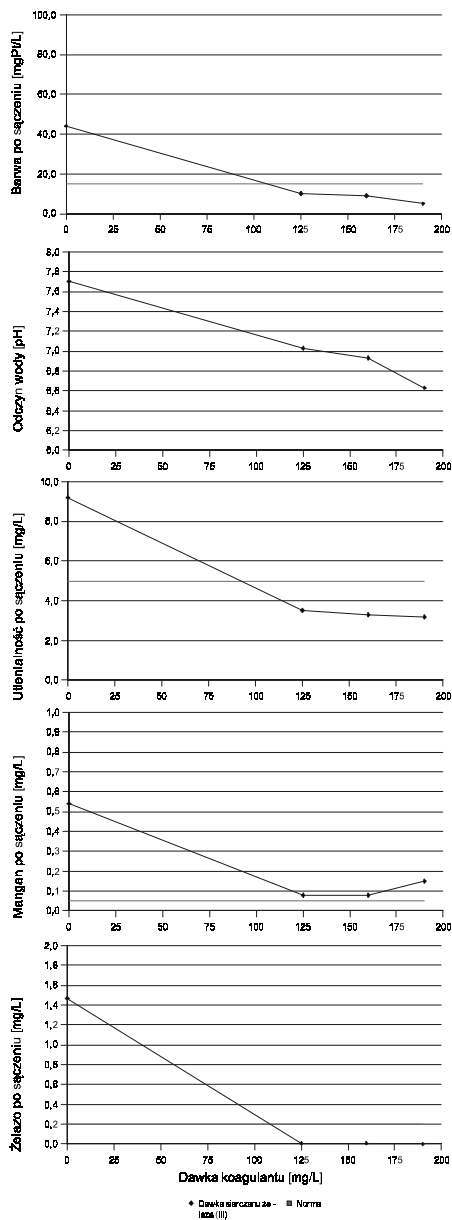
### **Seria V**

W serii V do badań wykorzystano:

- glinian sodu w dawce 30,0 mg/L jako podstawowy koagulant,
- siarczan żelaza w dawce pozwalającej obniżyć pH do wartości 6,0, 6,5 i 7,0 co odpowiadało dawkom tego reagenta równym: 125,0 mg/L; 160,0 mg/L 190,0 mg/L.
- Nadmanganian potasu w dawce 3,0 mg/L.

W pierwszej kolejności do badanej wody dawkowano nadmanganian potasu, i przez 2 minuty szybko mieszano reagent z wodą. Następnie wprowadzono glinian sodu i miareczkowano siarczanem żelaza do uzyskania założonego pH koagulowanej wody i próbę szybko mieszano przez 1 minutę. Po osiągnięciużądanego odczynu wodę poddawano wolnemu mieszaniu przez 30 min. Po mieszanii następowiała sedymentacja, dekantacja i próbę sączono, zgodnie z wcześniejomówionymi procedurami.

Wyniki przedstawiono na wykresie 5.



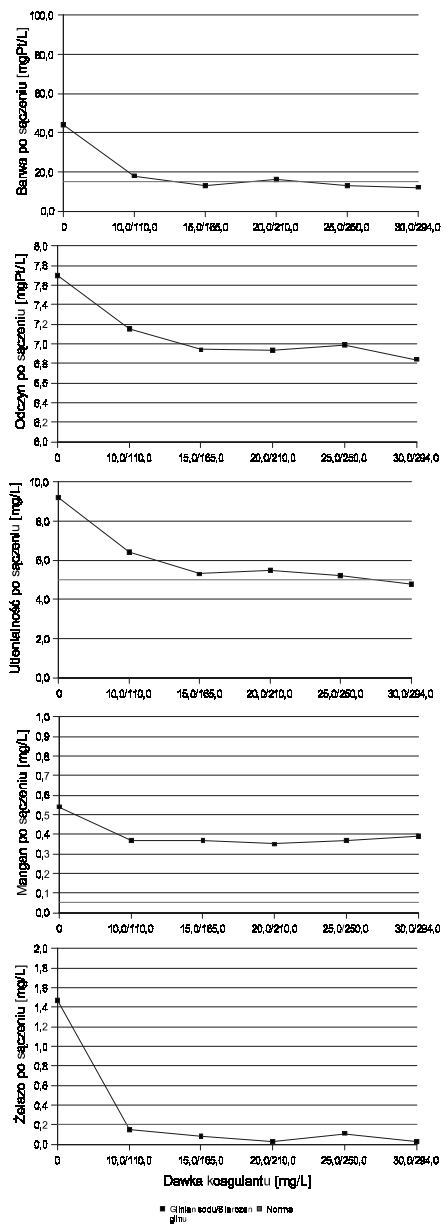
Wykres 5. Koagulacja glinianem sodu i siarczanem żelaza z wstępnym utlenianiem nadmanganianem potasu.

Wnioski z otrzymanych wyników są następujące:

- dla każdej z dawek siarczanu żelaza osiągnięto wystarczającą efektywność usuwania barwy, która po procesie mieściła się w normie (po sączeniu),
- efektywność usuwania barwy nie zwiększała się jednak znacząco przy zwiększaniu dawek koagulantu (siarczanu żelaza) i dalszego obniżania odczynu,
- podobnie w przypadku utlenialności – dla dawki siarczanu żelaza 125 mg/L efekty były praktycznie jednakowe jak przy dawce 190,0 mg/L,
- odczyn wody, przy którym osiągnano zadowalające efekty wynosił 7,0pH,
- zastosowanie nadmanganianu potasu pozwoliło obniżyć zawartość manganu w wodzie po sączeniu, jednak przy najniższym odczynie równym 6,6 pH zauważono pewien wzrost tego wskaźnika,
- najniższe stężenie manganu w przesączu uzyskano dla dawek siarczanu żelaza równych 125 mg/L i 160 mg/L; wynosiło ono 0,08 mgMn/L,
- nadmanganian potasu wspomógł również wyraźnie usuwanie żelaza z wody, wskaźnik ten charakteryzowały wartości bliskie granicy oznaczalności.

## Seria VI

W ostatniej serii przeprowadzono badania procesu koagulacji z równoczesnym dawkowaniem dwóch koagulantów: siarczanu glinu i glinianu sodu. Proces koagulacji był wspomagany chemicznym utlenianiem z użyciem nadmanganianu potasu. Z uwagi na korzystny wpływ niskiego odczynu na koagulację związków nadających wodzie barwę oraz utlenialność, badania przeprowadzono zachowując odczyn wody na poziomie 6,5 pH. W VI serii zachowano metodykę zastosowaną w serii V. Podstawowym koagulantem w VI serii był glinian sodu, który dawkowano w ilości: 10,0; 15,0; 20,0; 25,0; i 30,0 mg/L. Do próbek wody z przyjętymi dawkami glinianu sodu miareczkowano odpowiednią ilość siarczanu glinu, do momentu uzyskania odpowiedniego odczynu.



Wykres 6. Koagulacja przy użyciu siarczany glinu i glinianu sodu, wspomaganego nadmanganianem potasu.

Wnioski z wyników VI serii badań są następujące:

- bez względu na dawkę obu koagulantów uzyskano jednakową efektywność usuwania barwy, która mieściła się w granicach normy, co świadczyło o dominującym wpływie odczynu wody na proces koagulacji,
- podobnie w przypadku utlenialności: bez względu na dawkę koagulantów uzyskano obniżenie wartości tego wskaźnika do wartości dopuszczalnych,
- bez względu na dawkę koagulantów nie osiągnięto zadowalających efektów usuwania manganu, ,
- żelazo zostało dobrze skoagulowane osiągając wartości zgodne z normą już przy najniższych dawkach obu koagulantów.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

- żaden z zastosowanych pojedynczo koagulantów nie przyniósł oczekiwanych efektów usuwania barwy i utlenialności,
- najlepsze efekty, jednak znacznie poniżej oczekiwań, uzyskano po zastosowaniu glinianu sodu,
- obniżenie pH, które w kolejnych seriach badań było czynnikiem decydującym o skuteczności koagulacji, w pierwszej serii z samym siarczanem żelaza i następnie siarczanem glinu nie wpłynęło pozytywnie na efekty procesu koagulacji,
- wstępne badania równoczesnego dawkowania glinianu sodu i siarczanu żelaza w stosunku nie zmieniającym odczynu koagulowanej wody, również nie przyniosły oczekiwanych efektów,
- dopiero korekta odczynu przy jednoczesnym zastosowaniu mieszaniny koagulantów, pozwoliła uzyskać efekt w postaci koagulacji związków nadających wodzie barwę oraz utlenialność,
- granicznym odczynem pozwalającym osiągnąć zamierzony efekt było 7,0pH,
- przy jednoczesnej koagulacji siarczanem żelaza i glinianem sodu uzyskano obniżenie barwy i utlenialności poniżej wartości dopuszczalnych odpowiednio: dla barwy 11,0 mg/L i dla utlenialności 4,9 mg/L,
- niestety nie uzyskano zadowalających efektów usuwania manganu, którego stężenie w wodzie po sączeniu rosło wraz ze spadkiem odczynu,
- w związku z powyższym podjęto próby nad wprowadzeniem chemicznego utleniania przy użyciu nadmanganianu potasu, bądź nadtlenku wodoru; z tych dwóch utleniaczy zdecydowanie lepszy okazał się nadmanganian potasu, utleniający zarówno żelazo jak i mangan w ilości, która pozwalała uzyskać w przesączu wartości dopuszczalne tych wskaźników; jednocześnie badania nad utleniaczami (zwłaszcza nadtlenkiem wodoru) pozwoliły wysunąć wniosek, że część żelaza w wodzie surowej znajduje się w trudno-utleniających kompleksach organicznych,
- wprowadzenie do procesu koagulacji (glinianem sodu i siarczanem żelaza) nadmanganianu potasu, pozwoliło obniżyć zawartość manganu w wodzie przesączonej (nadal jednak pozostawała ona na poziomie nieco ponad normę),
- zdecydowanie lepsze efekty koagulacji dawało połączenie glinianu sodu i siarczanu żelaza niż glinianu sodu i siarczanu glinu, które przy stosunku dawek obniżających odczyn wody do 7,0 nie pozwalały na osiągnięcie wartości dopuszczalnych badanych wskaźników,

- uzyskiwane efekty przy koagulacji siarczanem glinu i glinianem sodu nie zależały od dawki obu koagulantów, a jedynie od odczynu wody; w zasadzie przy zwiększaniu dawek (przy zachowaniu stałego stosunku) otrzymywano porównywalne efekty koagulacji.

Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych pozwoliły określić optymalne parametry procesu koagulacji: rodzaj i dawkę koagulantów oraz odczyn wody. Zebrane dane stanowią podstawę do prawidłowego zaprojektowania i wykonania badań pilotowych, mających na celu opracowanie wytycznych projektowych i eksploatacyjnych modernizowanej SUW „Odra”.

## Bibliografia

- [1] “Wodociągi i kanalizacja w Polsce – tradycja i współczesność” redakcja naukowa: Marek M. Sozański, Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, Poznań-Bydgoszcz, 2002r.
- [2] Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Sozański M.M.: Badania pilotowe w projektowaniu technologii zakładów uzdatniania wody. /Przegląd Komunalny. Zeszyty Komunalne. – 2005, 5, s. 67-71
- [3] Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Sozański M.M.: Zarządzanie procesem projektowania w fazie planowania nowych i modernizacji eksploatowanych zakładów uzdatniania wody. Forum Eksploatatora. – 2005, 1, s. 12-20
- [4] Water Treatment Plant Design, American Water Works Association, McGraw-Hill Publishing Company, New York 1990r.
- [5] Sommerfeld E.O., “Iron and manganese removal handbook”, American Water Works Association, USA, 1999.
- [6] Siwiec T., Michel M.M., Granops M., „Badanie efektywności uzdatniania wody na złożu chalcedonitowym oraz badanie wybranych parametrów chalcedonitu”, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna “Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, Poznań, 2004r.
- [7] Jeż-Walkowiak J., Sozański M.M., Weber Ł.: Badanie nad zastosowaniem złóż chalcedonitowych w odżelazianiu i odmanganianiu wód podziemnych. // XII Konferencja naukowo-techniczna : z cyklu problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych: materiały, Białowieża 2005, Komitet Inżynierii Środowiska PAN. – Lublin: Komitet Inżynierii Środowiska PAN, 2005. – s. 157-169
- [8] Jeż-Walkowiak J., Weber Ł.: Parametry procesów odżelaziania i odmanganiania wód podziemnych w filtracyjnych złożach chalcedonitowych, VII Międzynarodowa Konferencja “Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, Poznań-Zakopane, 2006r.
- [9] Jeż-Walkowiak J., Weber Ł.: Nowe złoża filtracyjne z Zakładach Uzdatniania Wody, Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej „Woda – Człowiek – Środowisko, Aktualna problematyka usług wodociągowo-kanalizacyjnych”, Września-Licheń, 2006.

