



## Researches of volume coagulation in water from the Biała Nida river

Jarosław GAWDZIK<sup>1</sup>, Magdalena DAŃCZUK<sup>2</sup>, Jolanta LATOSIŃSKA<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, tel.41-34-24-571<sup>1</sup>; 41-34-24-574<sup>2</sup>, e-mail: jgawdzik@tu.kielce.pl, magdar@tu.kielce.pl, jlatosin@tu.kielce.pl

### Abstract

The paper presents the test results of volumetric coagulation in water from Biała Nida taken in Żerniki. The aim of the research was to determine the dosage and composition of the mix of coagulants. The scope of the investigation covered the selection of the coagulant in view of removing from water contaminants that cause certain colour and turbidity. Determination of the optimal dosage of coagulant was also covered in the investigation. The optimal dosages of aluminum and iron coagulants were determined as well as of the mix of the mentioned coagulants using the rotatable plan. Better properties were found for the mix of  $\text{FeCl}_3$  and  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  in comparison to the single aluminum or iron coagulant. It was proven that the level of the removal of contaminants was influenced by the kind and dosage of the coagulant.

**Keywords:** surface water, coagulation, optimal dose

### Streszczenie

Badanie koagulacji objętościowej w wodzie z rzeki Biała Nida

W pracy przedstawiono wyniki badań koagulacji objętościowej w wodzie z rzeki Biała Nida w przekroju Żerniki. Celem badań był dobór dawki i udziału składników mieszaniny koagulantów. Przeprowadzone badania obejmowały dobór koagulantu pod kątem usuwania z wody zanieczyszczeń nadających jej barwę i mętność oraz ustalenie optymalnej jego dawki. Wyznaczono dawki optymalne dla koagulantów glinowych i żelazowych oraz oddzielnie dla mieszaniny powyższych koagulantów przy pomocy planu rotabilnego. Wykazano wyższość mieszaniny  $\text{FeCl}_3$  z  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  nad samym tylko koagulantem glinowym lub żelazowym. Stwierdzono, że o stopniu usuwania zanieczyszczeń współdecydowały rodzaj i dawka koagulantu.

**Słowa kluczowe:** woda powierzchniowa, koagulacja, dawka optymalna

### 1. Wstęp

Wody powierzchniowe w Polsce w ogólnym poborze wód stanowią ponad 80%. Pokrywają ponad 30% zapotrzebowania wody na cele bytowo-gospodarcze [1]. Stosowane technologie uzdatniania wód powierzchniowych poza dezynfekcją wód mają na celu usunięcie, m.in. substancji powodujących mętność oraz barwę [2]. Głównymi naturalnymi składnikami wywołującymi mętność wód powierzchniowych są gliny, iły, koloidalna krzemionka, koloidalne związki wapnia i fosforu. Mętność może być również spowodowana przez makroskopowe zawiesiny cząstek roślinnych, wyższych drobnoustrojów, strącone wodorotlenki żelaza i manganu oraz plankton. Źródłem barwy wód są substancje rozpuszczone oraz barwne cząstki koloidalne (np. związki humusowe) [3]. Mętność i barwę wód mogą powodować również źródła antropogeniczne [4].

Wymagania jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczone do spożycia regulują zapisy Rozporządzenia Ministra Środowiska [8], tab.1.1.

Tabela 1.1. Wymagania jakościowe wód powierzchniowych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia [8].

Oznaczenie	Jednostka	Wartości graniczne wskaźników jakości wody					
		kategoria A1		kategoria A2		kategoria A3	
		Zal.	Dop.	Zal.	Dop.	Zal.	Dop.
pH	-	6,5-8,5	6,5-8,5	5,5-9,0	5,5-9,0	5,5-9,0	5,5-9,0
Zasadowość	val/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-
Barwa	g Pt/m <sup>3</sup>	10	20	50	100	-	200
Mętność	NTU	-	-	-	-	-	-
Utlenialność	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-

Zal. – zalecane; Dop. – dopuszczalne;

A1 – woda wymagająca prostego uzdatnienia fizycznego, w szczególności filtracji oraz dezynfekcji;

A2 – woda wymagająca typowego uzdatnienia fizycznego i chemicznego, w szczególności utleniania wstępnego, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji, dezynfekcji (chlorowania końcowego);

A3 – woda wymagająca wysokosprawnego uzdatnienia fizycznego i chemicznego, w szczególności utleniania, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji, adsorpcji na węglu aktywnym, dezynfekcji (ozonowania, chlorowania końcowego).

Konwencjonalne metody uzdatniania wód powierzchniowych obejmują, m.in.: koagulację, sedymentację, filtrację i dezynfekcję [4,5]. Koagulację polegającą na zmniejszeniu stopnia dyspersji układu koloidalnego w wyniku łączenia się pojedynczych cząstek fazy rozproszonej w większe aglomeraty najczęściej prowadzi się z udziałem soli glinu i żelaza [5,6]. Każdorazowo ustalenie optymalnej dawki koagulantu powinno być poprzedzone wykonaniem testów naczyniowych [7]. Przeprowadzone badania obejmowały dobór koagulantu w celu usunięcia z wody zanieczyszczeń nadających jej barwę i mętność oraz ustalenie optymalnej jego dawki.

## 2. Materiały i metody

Do badań wykorzystano wodę z rzeki Biała Nida pobraną w przekroju Żerniki (województwo świętokrzyskie). Charakterystykę wody surowej przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Podstawowa charakterystyka badanej wody.

Oznaczenie	Jednostka	Woda surowa
pH	-	7,94
Zasadowość	val/m <sup>3</sup>	3,7
Barwa	g Pt/m <sup>3</sup>	30
Mętność	NTU	10
Utlenialność	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	9,0

Do koagulacji wykorzystano koagulanty: 1 % roztwór siarczan VI glinu III, 1 % roztwór chlorku żelaza III oraz mieszaninę 1 % roztworu siarczanu VI glinu III z 1 % roztworem chlorku żelaza III. Dawki minimalne i maksymalne siarczanu VI glinu III i chlorku żelaza III ustalono na podstawie wzorów [3]:

$$D = 6 \div 8 \sqrt{B} \quad (2.1)$$

$$D = 7 \sqrt{M} \quad (2.2)$$

$$D = \alpha \sqrt{B} \quad (2.3)$$

dla chlorku żelaza III:

$$D = \frac{1}{A(n-1) \cdot C_k^{n-1}} \left[ 1 - \left( \frac{C_k}{C_p} \right)^{n-1} \right] \quad \text{dla } n \neq 1 \quad (2.4)$$

dla siarczanu VI glinu III:

$$D = \frac{1}{A} \ln \frac{C_p}{C_k} \quad \text{dla } n=1 \quad (2.5)$$

gdzie:

B – barwa wody badanej, [gPt/m<sup>3</sup>]

M – mętność wody badanej, [NTU]

$\alpha$  – współczynnik zależny od barwy uzdatnianej wody,

A, n – wartości stałe dla chlorku żelaza III:

$$A = \{0,100 \div 0,125\}$$

$$n = \{1,5 \div 2,0\}$$

A, n – wartości stałe dla siarczanu VI glinu III:

$$A = \{0,35 \div 0,60\}$$

$$n = 1$$

C<sub>p</sub> – stężenie początkowe barwy lub mętności (przyjęto mętność 1NTU),

C<sub>k</sub> – stężenie końcowe barwy lub mętności (przyjęto mętność 10 NTU).

Dawki mieszaniny siarczanu VI glinu III z chlorkiem żelaza III wyznaczono w oparciu o plan rotatabilny [9]. Maksymalną dawkę siarczanu VI glinu III oszacowano na podstawie wzoru 2.3 (dla  $\alpha = 7$ ), a minimalną ze wzoru 2.5. Maksymalną dawkę chlorku żelaza III oszacowano na podstawie wzoru 2.2, a minimalną ze wzoru 2.4. Zastosowane dawki koagulantów przedstawia tabela 2. 2.

Tabela 2.2. Dawki koagulantów.

Koagulant		Dawka koagulanta [g/m <sup>3</sup> ]									
		5	10	20	30	40	-	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		5	10	20	30	40	-	-	-	-	-
FeCl <sub>3</sub>		10	13	17	20	25	-	-	-	-	-
Mieszanina	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	22,5	22,5	40,0	34,9	22,5	10,1	5,0	10,1	22,5	34,9
	FeCl <sub>3</sub>	17,5	17,5	17,5	22,8	25,0	22,8	17,5	12,2	10,0	12,2

W przypadku koagulacji z udziałem siarczanu VI glinu III i chlorku żelaza III do pięciu zlewek o pojemności 1 dm<sup>3</sup>, a dla mieszaniny tych koagulantów do dziesięciu zlewek odmierzone 0,5 dm<sup>3</sup> wymieszanej badanej wody. Zlewki umieszczono w mieszadle wielostanowiskowym JLT. Natychmiast po zakończeniu dozowania koagulanta wodę szybko mieszano przez 30 sekund (liczba obrotów do 80 – 100 obr./min). Następnie prowadzono proces wolnego mieszania przez 25 minut, przy liczbie obrotów 10 obr./min. Badania wykonano dla trzech powtórzeń. Celem powolnego mieszania było usprawnienie rozpoczętego już procesu koagulacji przez zainicjowanie, a następnie intensyfikację procesu flokulacji. Po zakończeniu wolnego mieszania, zlewki z wodą pozostawiono na okres 30 minut. W zdekantowanej z nad osadu wodzie oznaczono: pH, zasadowość ogólną, utlenialność, barwę i mętność. Wyżej wymienione oznaczenia wykonano według [12-15].

### 3. Wyniki badań i dyskusja

Woda surowa wykorzystana w badaniach spełnia zalecenia dla wód kategorii A2 według wymogów Rozporządzenia Ministra Środowiska [8]. Woda wymaga uzdatniania fizycznego i chemicznego, w tym koagulacji, flokulacji, dekantacji.

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabelach 3.1. – 3.3. Dla koagulacji siarczanem VI glinu III maksymalna redukcja mętności i utlenialności wystąpiła dla dawki 30 g/m<sup>3</sup>. Maksymalna redukcja barwy w przypadku dawkowania siarczanu VI glinu III wystąpiła dla dawki 40 g/m<sup>3</sup>.

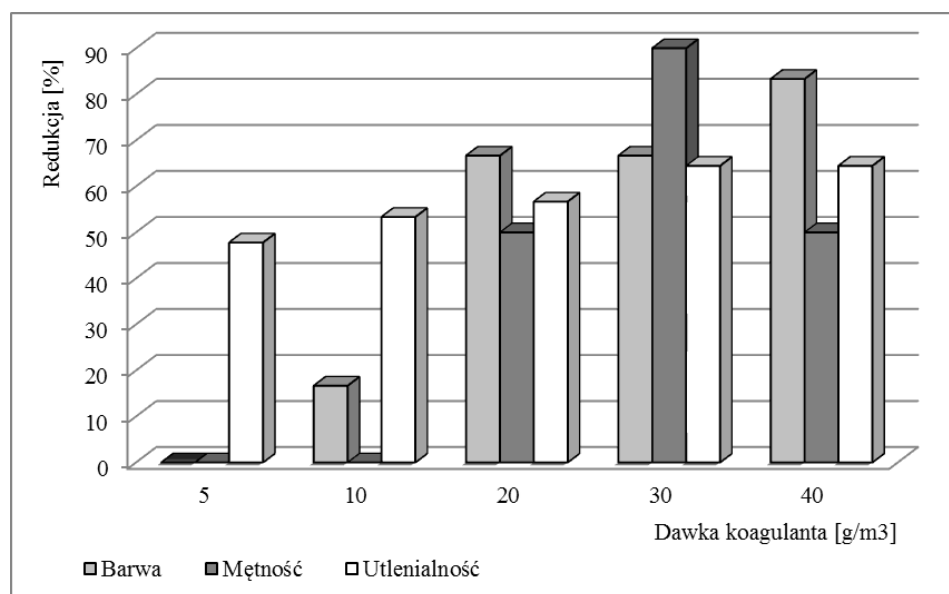
W wariacie koagulacji chlorkiem żelaza III maksymalna redukcja mętności wystąpiła dla dawki 10 g/m<sup>3</sup>. Natomiast maksymalna redukcja barwy i utlenialności wystąpiła dla dawki 25 g/m<sup>3</sup>.

Tabela 3.1. Koagulacja objętościowa siarczanem VI glinu III.

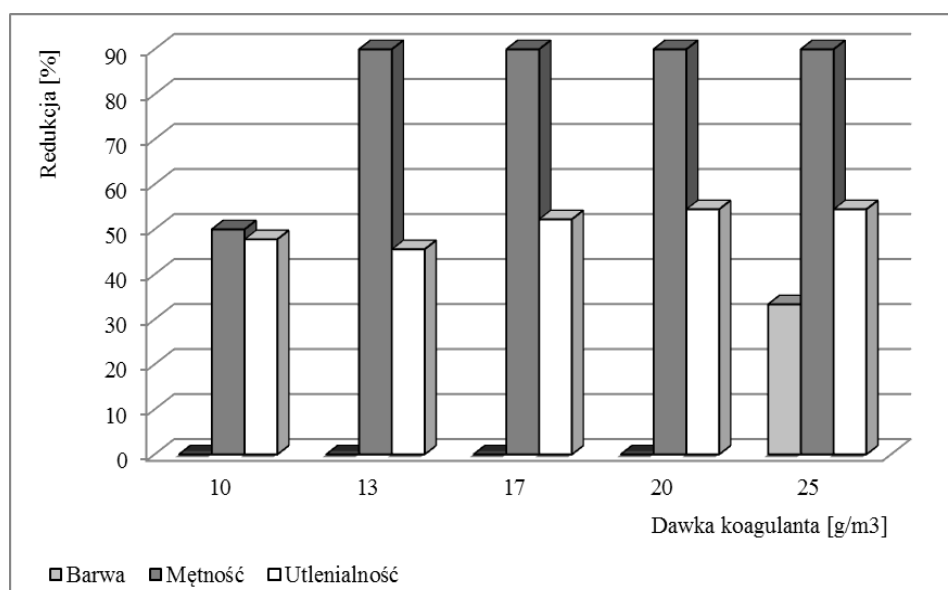
Oznaczenie	Jednostka	Wartość dopuszczalna wg [11]	Dawka koagulantu [g/m <sup>3</sup> ]				
			5	10	20	30	40
pH	-	6,5-9,5	7,79	7,55	7,38	7,19	7,02
Zasadowość	val/m <sup>3</sup>	-	3,5	3,5	3,4	3,1	3,0
Barwa	g Pt/m <sup>3</sup>	akceptowalna	30	25	10	10	5
Mętność	NTU	1,0	10	10	5	1	5
Utlenialność	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	5,0	4,7	4,2	3,9	3,2	3,2

Tabela 3.2. Koagulacja objętościowa chlorkiem żelaza III.

Oznaczenie	Jednostka	Wartość dopuszczalna wg [11]	Dawka koagulantu [g/m <sup>3</sup> ]				
			10	13	17	20	25
pH	-	6,5-9,5	7,92	7,63	7,48	7,44	7,39
Zasadowość	val/m <sup>3</sup>	-	3,6	3,4	3,3	3,2	3,3
Barwa	g Pt/m <sup>3</sup>	akceptowalna	30	30	30	30	20
Mętność	NTU	1,0	5	1	1	1	1
Utlenialność	g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	5,0	4,9	4,3	4,1	4,1	4,0



Rysunek 3.1. Wpływ dawki siarczanu VI glinu III na redukcję barwy, mętności i utlenialności badanej wody.



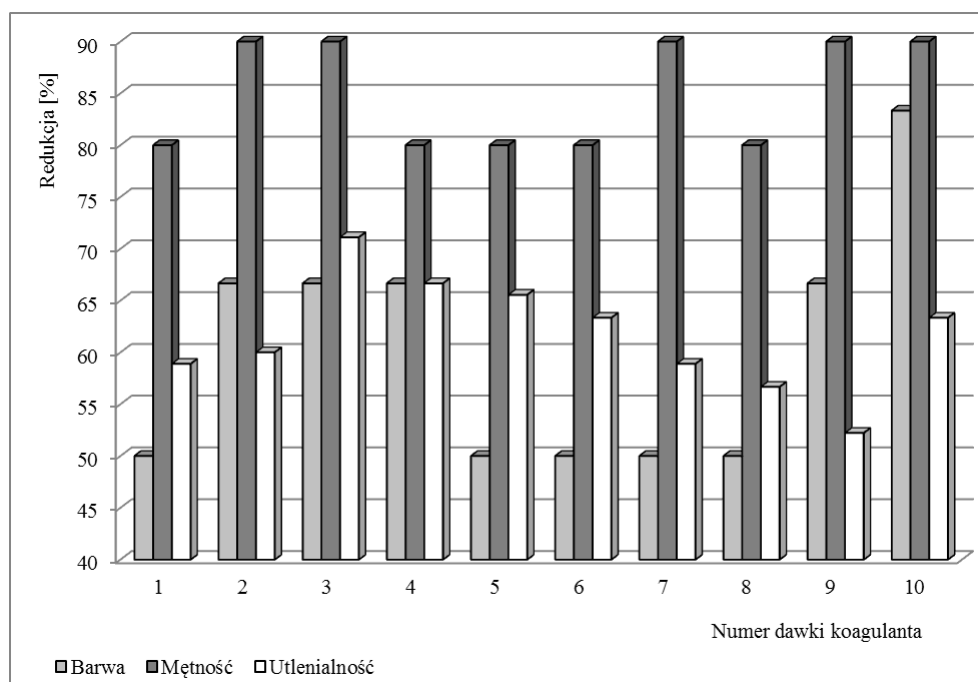
Rysunek 3.2. Wpływ dawki chlorku żelaza III na redukcję barwy, mętności i utlenialności badanej wody.

Tabela 3.3. Koagulacja objętościowa siarczanem VI glinu III z chlorkiem żelaza III.

Numer próbki	Dawka koagulantu [g/m <sup>3</sup> ]		pH	Zasadowość val/m <sup>3</sup>	Barwa g Pt/ m <sup>3</sup>	Mętność NTU	Utlenialność g O <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>
	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	FeCl <sub>3</sub>					
1	22,5	17,5	7,09	2,9	15	2	3,7
2	22,5	17,5	7,08	2,9	15	1	3,6
3	40	17,5	6,82	2,7	10	1	2,6
4	34,9	22,8	6,82	2,6	10	2	3
5	22,5	25	6,94	2,8	15	2	3,1
6	10,1	22,8	7,12	2,9	15	2	3,3
7	5	17,5	7,29	3,2	15	1	3,7
8	10,1	12,2	7,28	3,1	15	2	3,9
9	22,5	10	7,41	3,1	10	1	4,3
10	34,9	12,2	6,86	2,6	5	1	3,3

Zastosowanie mieszanki siarczanu VI glinu III z chlorkiem żelaza III spowodowało, że parametry wody po procesie koagulacji dla pięciu zestawów koagulantów spełniły wymogi według rozporządzenia [10,11], tj. dawki: 22,5 g/m<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> z 17,5 g/m<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub>; 40 g/m<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> z 17,5 g/m<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub>; 5 g/m<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> z 17,5 g/m<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub>; 22,5 g/m<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> z 10 g/m<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub>; 34,9 g/m<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> z 12,2 g/m<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub>.

Optymalną dawką mieszanki koagulantów ustalono: 5 g/m<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> i 17,5 g/m<sup>3</sup> FeCl<sub>3</sub> (tabela 3.3.). Dla dawki optymalnej mieszanki koagulantów redukcja mętności wynosiła 90%, a barwy 50% (rysunek 3.3.).



Rysunek 3.3. Wpływ dawki mieszaniny siarczanu VI glinu III z chlorkiem żelaza III na redukcję barwy, mętności i utlenialności badanej wody.

#### 4. Wnioski

Stwierdzono, że o stopniu usuwania zanieczyszczeń decydowały rodzaj i dawka koagulantu. Wzrost dawki siarczanu VI glinu III spowodował wzrost skuteczności redukcji barwy. Natomiast wzrost dawki chlorku żelaza III powyżej  $13 \text{ g/cm}^3$  nie spowodował zwiększenia skuteczności redukcji mętności badanej wody.

Laboratoryjne badania wody z rzeki Biała Nida wykazały, że optymalne efekty koagulacji objętościowej otrzymano stosując mieszaninę  $5 \text{ g/m}^3 \text{ Al}_2(\text{SO}_4)_3$  z  $17,5 \text{ g/m}^3 \text{ FeCl}_3$ .

Zaletą koagulacji mieszaniną koagulantów w porównaniu do samego siarczanu VI glinu III lub chlorku żelaza III jest mniejsza sumaryczna dawka optymalna koagulantów. Mniejsza masa użytej do procesu mieszaniny koagulantów w porównaniu do koagulacji siarczanem glinu lub chlorkiem żelaza korzystnie wpłynie na zmniejszenie masy wytrąconych osadów. Zmniejszenie dawki koagulantów potencjalnie przyczyni się do zmniejszenia kosztów procesu koagulacji objętościowej.

#### Literatura

1. Ochrona Środowiska 2009, Informacje i Opracowania Statystyczne, Warszawa, 2009.
2. Kłós M., Tokarczyk J., Możliwości modernizacji koagulacji i filtracji w układach oczyszczania wód powierzchniowych. Ochrona Środowiska, 3, 2005, 61 – 64.
3. Kowal A.L., Świdarska – Bróz M., Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
4. Sarkar B., Venkateshwarlu N., Nageswara Rao R., Chiranjib Bhattacharjee, Vijay Kale, Potable water production from pesticide contaminated surface water—A membrane based approach. Desalination 2007, 204, 368 – 373.
5. Logsdon G.S., Effective management and operation of coagulation and filtration. Water, Air, and Soil Pollution, 123,1-4, 2000, 159 – 166.
6. Xiao F., Zhang X., Zhai H., Yang M., Lo I. M.C., Effects of enhanced coagulation on polar halogenated disinfection byproducts in drinking water. Separation and Purification Technology, 76, 2010, 26 – 32.

7. Mołczan M., Biłyk A., Sulnjski M., Celer K., Zastosowanie testów naczyniowych do oceny skuteczności usuwania substancji organicznych z wody w procesie MIEX®/DOC. *Ochrona Środowiska*, 27, 2, 2005, 3 – 7.
  8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia, Dz.U. Nr 204 poz. 1728.
  9. Mańczak K., Techniki planowania eksperymentu. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
  10. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. Nr 74, poz. 466.
  11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody do spożycia przez ludzi Dz. U. Nr 72., poz. 466.
  12. PN-C-04540/01: marzec 1990 Woda i ścieki. Badania pH, kwasowości i zasadowości.
  13. PN-EN ISO 7027: maj 2003 Jakość wody. Oznaczanie mętności.
  14. PN-EN ISO 7887: październik 2002 Jakość wody. Badanie i oznaczanie barwy.
  15. PN-C-04578/02:1985. Oznaczanie chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) metodą nadmanganianową.
-

