

**Adam RAK, Tadeusz KONARCZAK**

*Politechnika Opolska  
PM Ltd. Dublin/o we Wrocławiu*

*Budimex-Dromex/Cadagua - Hiszpania*

## **BADANIA PILOTOWE JAKO METODA USTALENIA TECHNOLOGII UZDATNIANIA WODY POWIERZCHNIOWEJ CHARAKTERYSTYCZNEJ DLA ZLEWNI GÓRSKIEJ RETENCJONOWANEJ W ZBIORNIKU<sup>1</sup>**

### **PILOT EXAMINATIONS AS A WAY TO APPOINT TECHNOLOGY OF SURFACE WATER TREATMENT SO CHARACTERISTIC FOR THE MOUNTAIN RESERVOIR**

*The article focuses on the results of analysing water taken from the reservoir (examinations carried out from July 2005 till June 2006) and the effects of the water technology examinations carried out on a pilot station. The results underlined a changeable character of the surface water, so typical for the mountain reservoirs. „Sosnowka” reservoir which is responsible for gathering reserve water for the local water system, plays an important role in evening out the water content. Results of the examinations of the reservoir water quality differ much from the results of analysis carried out during the desiging phase. They focused then on the water taken from mountain streams supplying water to the reservoir. The differences that were noticed mainly in both winter and spring time applied to such indicators as: alkaline character, thickness, content of sault and temperature. The tests proved the fact that the organic ingredients' level was low and there were no pesticides. The technology model of the pilot station was constructed in such a way that other technology examinations were possible to carry out regarding different technology variations of the processes such as: sieving, introductory ozonation, surface coagulation with flucculation, correction of water pH, filtration through sand and anthracite deposit, derivative ozonation, filtration (sorption) on active carbon deposit. The examinations resulted in obtaining the optimum technology system: sieving, introductory ozonation, correction of pH with calcium and surface coagulation in sand and anthracite deposit. Such a system would allow for obtaining the required water quality all over the water year. The tests showed a necessity to differ doses' amounts of the reacting substances in process of water treatment as subject to the quality of the raw water. In periods of melting snow and heavy rains when the water quality worsens, it is essential to increase a dose of ozone from level of 0,75 to level of 1,4mgO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>, a dose of coagulant from level of 1,0 to 1,6*

---

<sup>1</sup> Badania wykonano w ramach projektu ISPA dofinansowanego ze środków Unii Europejskiej „Budowa Zakładu Uzdatniania Wody w Jeleniej Górze

*mgAl/dm<sup>3</sup>, a dose of azoths from level of 5÷10 to 14÷16 mgCaO/dm<sup>3</sup>. However, in periods when the water quality is stabilized (winter time or a lack of rain) the required water quality should be obtained by the technology system as follows: sieving, introductory ozonation, fast filtration on sand and anthracite deposit and sorption on active coal.*

## 1. Wprowadzenie

Wody powierzchniowe charakteryzują się dużą zmiennością w składzie fizykochemicznym. Jakość wody koreluje ze sposobem zagospodarowania zlewni, stanem środowiska i warunkami atmosferycznymi. Jakość wody powierzchniowej kształtują głównie takie czynniki jak: budowa geologiczna zlewni, właściwości gleb, topografia zlewni, procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne zachodzące w środowisku wodnym, prędkości przepływu wody, możliwości retencyjne zlewni, sposób zabudowy rzeki, sposób użytkowania wód. Mnogość czynników kształtujących jakość wody powierzchniowej wskazuje na to, że jej jakość jest funkcją wielu parametrów, które są zmienne ilościowo i w czasie [12]. Zmienność składu szczególnie widoczna jest w przypadku wód pochodzących ze stosunkowo niewielkich zlewni górskich, gdzie każde ze źródeł zanieczyszczeń może mieć wyraźny wpływ na jakość wody. Wody powierzchniowe zlewni górskich, to wody o stosunkowo niewielkiej ilości zanieczyszczeń w okresie normalnych warunków atmosferycznych. Natomiast w okresie wysokich, długotrwałych opadów atmosferycznych, roztopów, stan zanieczyszczeń znacznie wzrasta. Stężenia zanieczyszczeń mogą wahać się od ilości śladowych do kilkuset g/m<sup>3</sup> [3]. Ta nierównomierność powoduje konieczność prowadzenia badań nad doborem takiego układu technologicznego, aby w każdym okresie roku hydrologicznego w zależności o jakości wody surowej uzyskać wymagane parametry wody uzdatnionej.

Współczesne, systemy uzdatniania wód powierzchniowych charakteryzują się bardzo złożonymi strukturami technologicznymi zakładającymi sekwencję działań następujących procesów; cedzenie, utlenianie wstępne, koagulacja, sedymentacja, filtracja pospieszna, utlenianie pośrednie, filtracja biologiczna lub adsorpcja i dezynfekcja. Dwu i trój punktowe stosowanie chemicznego utleniania, głównie ozonowania jest cechą charakterystyczną tych systemów i występuje w sekwencji przemiennej z procesami koagulacji, adsorpcji, filtracji pospiesznej i filtracji biologicznej. Większość prowadzonych prac doświadczalnych dotyczących zastosowania procesu chemicznego utleniania w uzdatnianiu wody zmierza do poznania uwarunkowań fizyczno-chemicznych i technologicznych umożliwiających realizację tego procesu bez tworzenia ponadnormatywnych ilości związków toksycznych [22]. Wysokoefektywne procesy uzdatniania wód ze zbiorników retencyjnych powinny skutecznie umożliwić okresowe usuwanie zawiesiny i glonów, efektywnie obniżyć mętność i barwę oraz zapewnić redukcję wskaźników zanieczyszczenia organicznego tj. ChZT, OWO, prekursorów THM i innych produktów ubocznych. W warunkach znacznej zmienności składu uzdatnianej wody powierzchniowej, wymagane jest stosowanie różnorodnych reagentów. Trafny wybór reagentów, określenie ich optymalnych dawek oraz właściwej kolejności dawkowania wymaga rozległego monitorowania jakości wody przeznaczonej do uzdatniania. Szczególnie istotnym jest trafny dobór rodzaju chemicznych utleniaczy, ich dawek oraz parametrów procesowych adsorpcji, filtracji biologicznej i końcowej dezynfekcji zabezpieczającej sieć wodociągową przed wtórnym skażeniem. Wskazuje to na potrzebę tworzenia w układach technologicznych uzdatniania wód powierzchniowych skutecznych

barier zatrzymujących i unieszkodliwiających mikroorganizmy oraz zanieczyszczenia organiczne rozpuszczone. Wśród skutecznych barier w układach technologicznych można wymienić: koagulację z filtracją pośpieszną, ozonowanie z sorpcją na węglu aktywnym, lub z biologicznie aktywnymi filtrami węglowymi. W ostatnim okresie coraz popularniejsze stają się takie procesy niekonwencjonalne jak: nanofiltracja, mikrofiltracja i ultrafiltracja [14]. Ocena technologii uzdatniania wody, a szczególnie wód powierzchniowych, celowość ekonomiczna stosowania wysokoefektywnych procesów jednostkowych wymaga prowadzenie kompleksowych i wieloetapowych badań technologicznych. Badania technologiczne służą do znalezienia najlepszego sposobu uzdatniania wody do określenia parametrów procesów, doboru urządzeń i wzajemnych powiązań pomiędzy nimi [22,24,25,26,27]. Badania modelowe polegają na odwzorowaniu przebiegu operacji jednostkowych lub połączonych operacji technologicznych w urządzeniach pomniejszych w stosunku do wielkości urządzeń do uzdatniania wody. Zakres tych badań może obejmować badania modelowe operacji jednostkowych, badania modelowe elementów oraz badania kompleksowe – stacje pilotowe [1,20,21].

## 2. Charakterystyka obiektu badawczego, zakres i metodyka badań

### 2.1. Charakterystyka obiektu

Dla celów zaopatrzenia w wodę miasta Jelenia Góra w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku wykonano zbiornik zaporowy „Sosnówka”. Zasoby wodne tego zbiornika mają być źródłem wody surowej dla projektowanego zakładu uzdatniania wody o wydajności 25 tys. m<sup>3</sup>/d. Zbiornik „Sosnówka” retencjonuje wody zlewni potoku Czerwonka z jego dopływami Sośniak i Sosnówka o powierzchni zlewni 15,3 km<sup>2</sup>. Ponieważ zasoby wodne zlewni potoku Czerwonka są niewystarczające dla uzyskania wymaganego poboru wody, wykonano dodatkowe zasilanie zbiornika wodami rzeki Podgórznej o powierzchni zlewni 35,5 km<sup>2</sup> za pomocą grawitacyjnego kanału. Przewiduje się, że w przypadku pełnego planowanego poboru wody ze zbiornika retencyjnego „Sosnówka” dla celów wodociągowych konieczne będzie jego zasilanie w 70% z rzeki [2,15]. W okresie badań zbiornik nie był zasilany wodami rzeki Podgórznej.

W celu ustalenia technologii uzdatniania wody niezbędnej dla zaprojektowania Zakładu Uzdatniania Wody wcześniej prowadzono badania jakościowe wody na dopływach zasilających przyszły zbiornik „Sosnówka” [2,5]. Prognozowaną, prawdopodobną jakość wody w zbiorniku określono na podstawie wyników tych badań. Przyjęto dla celów projektowych, że podstawowe wskaźniki fizyko-chemiczne jakości wody takie jak: pH, substancje rozpuszczone, siarczany, chlorki, BZT<sub>5</sub>, ChZT, utlenialność, zawiesiny, azot ogólny, amoniak, fosfor ogólny, ortofosforany, będą odpowiadały I klasie czystości [2,5]. W prognozie założono niewielkie okresowe obniżenie pH (poniżej 6,5), oraz podwyższenie stężeń fosforu ogólnego (powyżej 0,1 mgP/dm<sup>3</sup>). Wartość pozostałych wskaźników kształtowały się poniżej dopuszczalnych, zwłaszcza w odniesieniu do zanieczyszczeń organicznych i związków azotowych. Założono również, że powstanie zakwitów będzie ograniczona ze względu na deficyt węgla, chociaż nie wykluczono całkowicie tego procesu [10]. Zgodnie z

prognozą jakości wód magazynowanych w zbiorniku retencyjnym przyjęto, że wystarczającym w przeważającym okresie roku wariantem technologicznym uzdatniania wody będzie proces filtracji z końcową korektą zasadowości i dezynfekcja wody. W okresach spodziewanego zwiększonego zanieczyszczenia wód (zlewnia górską, wiosenne spływy, ulewne deszcze) niezbędne będzie zastosowanie koagulacji i sorpcji poprzedzonej ozonowaniem wody, szczególnie w okresach letnich, w których możliwe jest występowanie zakwitów glonów [10,11]. Przyjęto, że technologia uzdatniania wody surowej oparta będzie o następujące procesy: usuwanie zanieczyszczeń pływających (cedzenie), koagulacja z filtracją w złożu antracytowo-piaskowym wraz z korektą odczynu, ozonowanie, filtracja w złożu węglowym i dezynfekcja za pomocą podchlorynu sodu.

## 2.2. Zakres i metodyka badań

Badania wykonano w ciągu roku od lipca 2005 do czerwca 2006. Wodę ze zbiornika i z rzeki Podgórną pobierano do analiz fizyko-chemicznych w cyklach kilkudniowych w każdym miesiącu okresu badawczego. Ogółem w okresie badań wykonano 79 analiz fizyko-chemicznych wody ze Zbiornika „Sosnówka” i 51 analiz z rzeki Podgórną. Zakres wykonanych analiz obejmował oznaczenie każdorazowo temperatury powietrza i wody oraz 26 wskaźników zanieczyszczeń. Analizy fizyko-chemiczne wykonywane były w zorganizowanym do tego celu laboratorium. Laboratorium wyposażono w urządzenia pomiarowe pozwalające na zrealizowanie oznaczeń poza węglem organicznym. Oznaczenie to wykonano w Laboratorium Instytutu Chemii Organicznej Uniwersytetu Poznańskiego. Podstawowym urządzeniem pomiarowym był Multifotometr C-200, pozwalający na oznaczenie 36 parametrów. Zakres codziennej analizy obejmował takie wskaźniki jak: temperatura powietrza i wody, zapach, mętność, barwa, odczyn, twardość, zasadowość, twardość ogólna, żelazo, mangan, chlorki, azot amonowy i azotanowy, utlenialność, tlen rozpuszczony, przewodność, ogólny węgiel organiczny, fosforany oraz okresowy; wapń, magnez, sód, siarczany, potas, substancje rozpuszczone i wolny dwutlenek węgla [6,7,8].

Badania technologiczne prowadzono na stacji modelowej, którą usytuowano w kontenerze bezpośrednio przy budowlu upustowej zbiornika. Model technologiczny stacji pilotowej o przepustowości  $Q_{\max} = 1,5\text{m}^3/\text{h}$  umożliwił prowadzenie badań w różnych wariantach technologicznych, stosując następujące procesy: cedzenie, ozonowanie wstępne, koagulacja z flokulacją, korekta odczynu wody, filtracja przez złożo antracytowo-piaskowe, ozonowanie wtórne, filtracja (sorpcja) przez złożo węgla aktywnego i stabilizowanie wody [6,7,8,16,17,18]. Woda do badań ujmowana była na poziomie 4-5 m poniżej lustra wody w zbiorniku retencyjnym. Woda, grawitacyjnie przewodem  $\varnothing 32$  mm w sposób ciągły dostarczana była do zbiornika wstępnego wody surowej, który wyposażony był w przelew. Na wylocie przewodu (wlocie do zbiornika) zamontowano sito o prześwicie 1x1 mm. Ze zbiornika wstępnego wody surowej, poprzez filtr rurowy, pompą wirową typu DP 100 LFP woda tłoczona była poprzez mieszacz statyczny typu MX32 mm do komory kontaktowej wstępnego ozonowania. Z komory kontaktowej, woda grawitacyjnie spływała do zbiornika koagulacji i flokulacji, gdzie dawkowano koagulant, wodę wapienną i flokulant. Komorę wyposażono w mieszadło szybkoobrotowe typu MSA 140/0,75. Następnie wodę poprzez zbiornik pośredni pompowano do trzech filtrów ze złożem antracytowo-kwarcowym. Wypełnienie filtrów stanowiła: warstwa podtrzymująca żwiru o granulacji 3÷20 mm i wysokości 0,40 m, piasek kwarcowy o granulacji 0,8÷1,2 mm i wysokości 1,0 m i warstwa antracytu grubości 0,6 m o granulacji 0,8÷1,6 mm. Z filtrów poprzez mieszacz statyczny woda przepływa do komory kontaktowej ozonowania pośredniego. Do wytwa-

rzania ozonu służył generator ozonu typu LAB 4 o wydajności  $0,5 \div 3$  g/h. Ozon produkowany był z tlenu. Z komory kontaktowej, pompą wirową woda kierowana na trzy filtry węglowe. Wypełnienie filtrów węglowych stanowił węgiel aktywny o granulacji  $2 \div 5$  mm i wysokości warstwy 1,5 m, ułożonej na warstwie żwiru o granulacji  $3 \div 5$  mm wysokości 0,15 m. Do wypełnienia każdego filtra użyto innego rodzaju węgla. Po filtrach woda kierowana była do zbiornika wody uzdatnionej o pojemności  $1 \text{ m}^3$ . Płukanie filtrów piaskowo-antracytowych odbywało się powietrzem i wodą uzdatnioną, natomiast filtrów węglowych tylko wodą z intensywnością  $12 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$  o czasie płukania  $6 \div 10$  min. Reagenty dozowane były pompami dozującymi typu Milton Roy o wydajności  $0,79 \div 12 \text{ dm}^3/\text{h}$ .

W oparciu o wcześniejsze wyniki badań przyjęto [10,11], że technologia uzdatniania wody surowej oparta będzie o następujące procesy: usuwanie zanieczyszczeń pływających (cedzenie przez sito  $1 \times 1$  mm), korekta odczynu wodą wapienną, koagulacja powierzchniowa z flokulacją na złożach antracytowo-piaskowych, ozonowanie, filtracja przez złożo węgla aktywnego. Taki układ technologiczny oznaczono jako **WI**. Z uwagi na to, że szczególnie w okresach letnich możliwe jest występowanie zakwitów glonów, dodatkowo do układu technologicznego wprowadzono ozonowanie wstępne i oznaczono go jako **WII**. Mając na uwadze, że w okresach stabilnych warunków klimatycznych woda jest dobrej jakości, postanowiono zbadać efektywność filtracji wyłączając z układu technologicznego **WII** proces koagulacji oznaczając go jako **WIII**, a wyłączając z układu technologicznego **WIII**, proces sorpcji na węglu aktywnym, utworzono czwarty układ technologiczny oznaczając go jako **WIV**.

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Jakość wody w okresie badań

W okresie badawczym dla określonych wariantów technologicznych wykonano 20 podstawowych testów badawczych. Poniżej w tabeli zestawiono terminy oraz jakość wody surowej w okresie prowadzonych testów technologicznych.

Tab.1. Podstawowe wskaźniki wody surowej pobieranej do badań technologicznych w okresie prowadzenia testów

Tab.1. Elementary indicators of raw water taken for the technology examination purposes in the period of tests being carried out

Nr testu	Termin m-c	Warianty technologiczne	Podstawowe wskaźniki wody surowej						
			T °C	Mętność NTU	pH	Barwa mg Pt/dm <sup>3</sup>	Zasadowość mval/dm <sup>3</sup>	Utlenialność mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	Twardość og. mval/dm <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	IX 2005	WI	19,5	9	6,95	17	0,5	5,2	-
2		WII	20,5	7	7,0	15	0,6	4,8	-
3		WIII	18	7	7,05	12	0,55	5,6	-
4		WIV	17,5	8	7,0	12	0,55	5,4	-
5	I/2006	WIla	3,1	3	7,35	5	0,7	5,1	0,90
6	II	WIla	3,6	3	7,2	10	0,7	4,6	0,85
7,8,9	III	WIla	4,8	5	6,95	10	0,65	4,8	0,85
10,11	IV	WIla	11,0	5	6,8	15	0,58	4,9	0,75
12	IV	WIII	11,0	5	6,8	15	0,58	4,9	0,75
13	V	WIla	16,1	10	6,95	10	0,6	5,0	0,8
14,15	V	WII	16,1	10	6,95	10	0,6	5,0	0,8
16	V	WII	14,0	5	6,95	5	0,25	4,2	0,35
17,18	VI	WII	15,2	5	6,8	7	0,56	5,1	0,75
19	VI	WIla	15,2	5	6,8	7	0,56	5,1	0,75
20	VI	VII	12,0	3	6,78	7	0,20	4,2	0,42

Badania technologiczne w okresie letnio-jesiennym prowadzono na wodzie surowej o następujących parametrach: temp. 17,5÷20,05 °C, mętność 7÷10 mgSiO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, barwa 12÷17 mgPt/dm<sup>3</sup>, pH 6,9÷7,5, zasadowość 0,55÷0,65 mval/dm<sup>3</sup>, zawiesina ogólna 8,4÷12,6 mg/dm<sup>3</sup>, OWO 2,7÷3,6 mgC/dm<sup>3</sup> oraz przy śladowych ilościach żelaza i manganu. Natomiast w okresie zimowym badania technologiczne prowadzono na wodzie o temp. 3,6÷4,8 °C, mętności 3÷5 mgSiO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, barwie 5÷10 mgPt/dm<sup>3</sup>, pH 6,8÷7,8, zasadowości 0,65÷0,70 mval/dm<sup>3</sup>, zawiesinie ogólnej 6,6÷8,2 mg/dm<sup>3</sup>, OWO 1,55 mgC/dm<sup>3</sup>, azocie amonowym 0,30-0,32 mgN/dm<sup>3</sup> oraz przy ilościach żelaza max. 0,02 mgFe/dm<sup>3</sup> i śladowych ilościach manganu. W okresie wiosennym badania technologiczne prowadzono na wodzie o temperaturze 14÷16 °C, mętności 5÷10 mgSiO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, barwie 7÷10 mgPt/dm<sup>3</sup>, pH 6,95 zasadowości 0,58÷0,60 mval/dm<sup>3</sup>, zawiesinie ogólnej 10,4 mg/dm<sup>3</sup>, OWO 3,4 mgC/dm<sup>3</sup>, azocie amonowym 0,28 mgN/dm<sup>3</sup> oraz przy śladowych ilościach żelaza i manganu. W okresie wiosenno-letnim badana woda posiadała temperaturę 12÷16 °C, mętność 5

$\text{mgSiO}_2/\text{dm}^3$ , barwę  $5\div 7 \text{ mgPt}/\text{dm}^3$ , pH 6,95, niską zasadowość  $0,20\div 0,25 \text{ mval}/\text{dm}^3$  oraz bardzo niską twardość ogólną ( $0,35 \text{ mval}/\text{dm}^3$ ).

### 3.2. Wyniki testów technologicznych

Testy technologiczne przeprowadzono stosując różne dawki reagentów w procesie ozonowania wstępnego, koagulacji, korekty odczynu i ozonowania wtórnego. W czasie przeprowadzonych prób testowych dla czterech wariantów technologicznych oznaczano w filtracie takie wskaźniki jak: mętność, odczyn, barwę, zasadowość, utlenialność, OWO oraz pozostałość glinu i ozonu po ozonowaniu wstępnym i wtórnym. Dawki reagentów zestawiono w tabeli nr 2 i 3.

Tab. 2. Dawki reagentów w letnio-jesiennych próbach testowych

Tab. 2. Doses of the reacting substances in tests being carried out in summer and autumn time

lp	Procesy jednostkowe/Reagenty	Wariant technologiczny	Nr próby testowej			
			1	2	3	4
1	Ozonowanie wstępne, dawka ozonu: $\text{mgO}_3/\text{dm}^3$	I	-	-	-	-
		II	0,8	1,0	1,2	1,4
		III	0,8	1,0	1,5	2,0
		IV	0,8	1,2	1,6	1,4
2	Koagulacja siarczanem glinu $10\% \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , dawka: $\text{mgAl}/\text{dm}^3$	I	0,8	1,0	1,2	1,6
		II	0,8	1,2	1,4	1,6
		III	-	-	-	-
		IV	-	-	-	-
3	Flokulant anionowy 0,5% Magnafloc 156 dawka: $\text{ml}/\text{dm}^3$	I	0,5	0,5	0,75	1,0
		II	0,5	0,5	0,75	1,0
		III	-	-	-	-
		IV	-	-	-	-
4	Korekta odczynu wodą wapienną, dawka wapna: $\text{mgCaO}/\text{dm}^3$	I	3,8	5,7	6,5	7,6
		II	3,8	5,7	6,5	7,6
		III	1,9	2,5	3,2	3,8
		IV	1,5	2,0	2,5	3,0
5	Ozonowanie wtórne, dawka ozonu: $\text{mgO}_3/\text{dm}^3$	I	1,0	1,0	1,25	1,25
		II	0,6	0,8	1,0	1,2
		III	-	-	-	-
		IV	-	-	-	-

Tab. 3. Dawki reagentów w pozostałych okresach badawczych

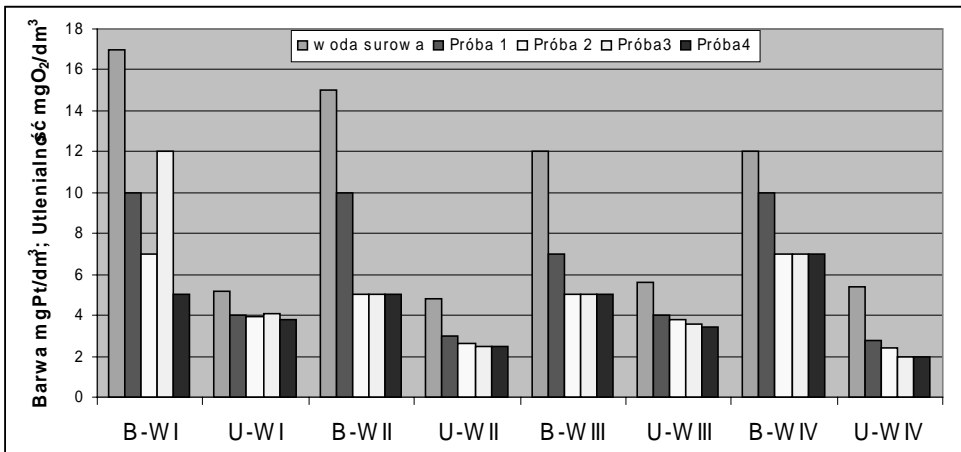
Tab. 3. Doses of reacting substances in tests being carried out in other time

lp	Procesy/Reagenty	okres badań	Nr próby testowej				
			1	2	3	4	5
1	Ozonowanie wstępne, dawka ozonu: $\text{mgO}_3/\text{dm}^3$	zima	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
		wiosna	1,0	1,2	1,4	1,6	1,6
		wiosna/lato	1,2	1,2	1,2	1,2	
2	Koagulacja siarczanem glinu $10\%\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , dawka; $\text{mgAl}/\text{dm}^3$	zima	0,6	0,8	1,2	1,4	1,6
		wiosna	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
		wiosna/lato	1,0	1,2	1,4	1,6	
3	Flokulant anionowy 0,5% Magnafloc 156 dawka: $\text{ml}/\text{dm}^3$	zima	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
		wiosna	0,5	0,5	0,75	0,75	0,5
		wiosna/lato	0,5	0,5	0,5	0,5	
4	Korekta odczynu wodą wapienną, dawka wapna: $\text{mgCaO}/\text{dm}^3$	zima	4	6	8	12	16
		wiosna	8	10	12	16	16
		wiosna/lato	12	14	18	20	
5	Ozonowanie wtórne, dawka ozonu: $\text{mgO}_3/\text{dm}^3$	zima	-	-	-	-	
		wiosna	-	-	-	-	
		wiosna/lato	0,8	0,8	1,0	1,0	-

W wyniku badań prowadzonych w okresie letnio-jesiennym stwierdzono, że w przypadku wariantu technologicznego WI, najniższą mętność uzyskano dla próby testowej nr 1 przy najniższych dawkach koagulantu i wapna. Wyższe dawki tych reagentów powodowały wzrost mętności do  $5 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$ . W pozostałych wariantach technologicznych każdorazowo mętność wynosiła  $0 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$  niezależnie od dawki koagulantu i wapna. Odczyn wody wzrastał od 6,95 do 8,5. Najmniejsze zamiany w odczynie zaobserwowano w wariantcie WI (max.  $\text{pH} = 7,1$ ). W każdej próbie wraz ze wzrostem dawki wapna wzrastała zasadowość od  $0,50 \text{ mval}/\text{dm}^3$  do  $0,7 \text{ mval}/\text{dm}^3$  (WI) i do  $1,1 \text{ mval}/\text{dm}^3$  (WIII). Testy wykazały, że w przypadku braku koagulacji (WIII, WIV) osiągnięto najlepsze rezultaty w redukcji OWO z  $3,6 \text{ mgC}/\text{dm}^3$  do  $0,8 \text{ mgC}/\text{dm}^3$ .

Uzyskane wyniki w takich wskaźnikach jak barwa i utlenialność zobrazowano na rys. 1.



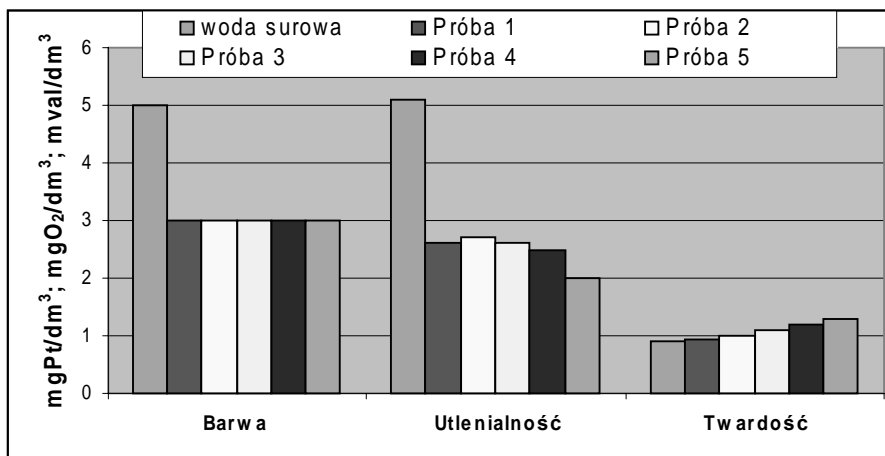


Rys. 1. Zmienność barwy i utlenialności wody w okresie letnio-jesiennym dla kolejnych wariantów technologicznych

Fig. 1. Change of colour and oxidability in summer and autumn time for various technology variants

Z rys. 1 wynika, że znaczne obniżenie barwy w układzie technologicznym WI uzyskuje dopiero przy najwyższej dawce koagulanta ( $1,6 \text{ mgAl/dm}^3$ ). Jednak najlepsze efekty redukcji barwy osiągnięto stosując ozonowanie wstępne (WII) już przy dawce koagulanta  $1,0 \text{ mgAl/dm}^3$ . Nieco gorsze wyniki uzyskano w wariantcie WIII, kiedy stosowano tylko ozonowanie wstępne. Badania wykazały, że na efekty redukcji utlenialności niewielki wpływ ma wzrost dawki ozonu zarówno w na etapie wstępnego ozonowania jak też na etapie ozonowania wtórnego. Testy potwierdziły, że zastosowanie ozonowania wstępnego (WII) obniża dawkę koagulanta. Dobre wyniki w redukcji barwy i utlenialności uzyskano w układzie technologicznym bez ozonowania wtórnego, ale przy zachowaniu ozonowania wstępnego.

W okresie zimowym zrezygnowano z ozonowania wtórnego (niska temperatura uniemożliwia rozwój glonów i mikroorganizmów na powierzchni węgla aktywnego). Stąd badania prowadzono według zmodyfikowanego wariantu technologicznego WIIa, stosując następujące procesy: cedzenie przez sito  $1 \times 1 \text{ mm}$ , ozonowanie wstępne, korekta odczynu wodą wapienną, koagulacja siarczanem glinowym, flokulacja, filtracją przez złożo antracytowo-piaskowe, filtracja przez złożo węgla aktywnego. Otrzymane wyniki wykazały, że w każdej próbie testowej mętność obniżała się do  $0 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$  nawet przy najwyższej dawce wapna. Zaobserwowano bardzo małe różnicowanie w zmianach odczynu. Podobna tendencja jest widoczna w zmianach zasadowości, pomimo, że wartości te są wyższe w wodzie surowej niż w okresie letnim. W każdej próbie wraz ze wzrostem dawki wapna wzrastała zasadowość od  $0,70 \text{ mval/dm}^3$  do  $1,0 \text{ mval/dm}^3$ . Uzyskane wyniki w takich wskaźnikach jak barwa, utlenialność i twardość ogólną zobrazowano na rys 2.

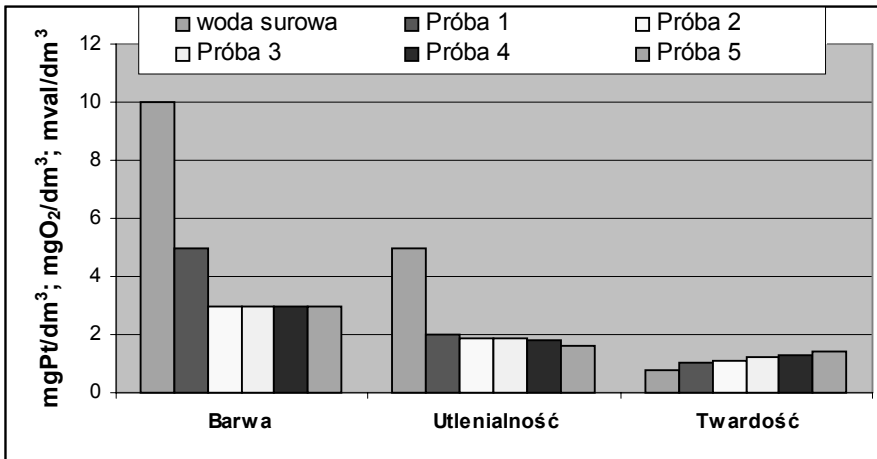


Rys. 2. Zmienność barwy, utlenialności i twardości wody w okresie zimowym w zależności od dawki reagentów

Fig. 2. Change of colour, oxidizability and toughness of water in winter time subject to doses of reacting substances

Z rys. 2 wynika, że wzrost dawki ozonu ponad  $0,6 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$ , koagulanta ponad  $0,6 \text{ mg Al}/\text{dm}^3$  nie powoduje dalszego obniżenia się barwy wody, natomiast wraz ze wzrostem dawki tych reagentów tylko nieznacznie obniża się utlenialność. Zauważalny jest wzrost twardości. Twardość ogólną od  $1,0$  do  $1,3 \text{ mval}/\text{dm}^3$  uzyskuje się przy dawkach ozonu ponad  $0,8 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$ , koagulanta ponad  $0,8 \text{ mg Al}/\text{dm}^3$  i dawce wapna ponad  $6 \text{ mgCaO}/\text{dm}^3$ .

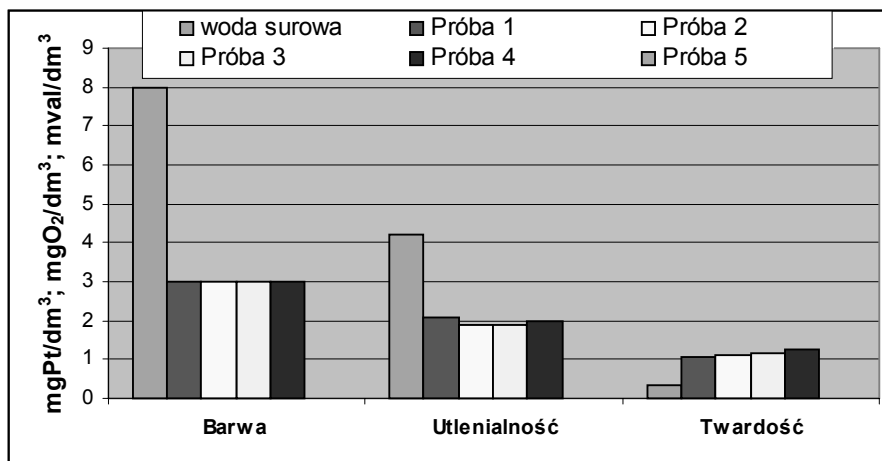
W okresie wiosennym badania prowadzono według zmodyfikowanego wariantu WIIa nie stosując ozonowania wtórnego. Otrzymane wyniki wskazały, że w każdej próbie testowej mętność obniżała się do wartości  $0 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$ , nawet przy najwyższej dawce wapna. Odczyn wody wzrastał z  $6,95$  do  $7,7$ . Zasadowość wzrasta od  $0,6$  do  $1,0 \text{ mval}/\text{dm}^3$ . Uzyskane wyniki w takich wskaźnikach jak barwa i utlenialność i twardość ogólna zobrazowano na rys. 3. Z rys. 3 wynika, że wzrost dawki ozonu powyżej  $1,2 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$ , koagulanta powyżej  $1,2 \text{ mg Al}/\text{dm}^3$  i dawki wapna ponad  $10 \text{ mgCaO}/\text{dm}^3$  wpływa na obniżenie się barwy wody. Natomiast znaczne obniżenie się utlenialności następuje już przy dawkach początkowych (próba 1). Wzrost twardości ogólnej od  $1,0$  do  $1,4 \text{ mval}/\text{dm}^3$  uzyskuje się przy dawkach ozonu ponad  $1,0 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$ , koagulanta ponad  $0,8 \text{ mg Al}/\text{dm}^3$  i dawce wapna ponad  $8 \text{ mgCaO}/\text{dm}^3$ .



Rys. 3. Zmienność barwy, utlenialności i twardości wody w okresie wiosennym w zależności od dawki reagentów

Fig. 3. Change of colour, oxidability and toughness of water in spring time subject to doses of reacting substances.

W okresie wiosenno-letnim badania technologiczne prowadzono dla pełnego wariantu technologicznego WII, przy stałej dawce ozonu. Otrzymane wyniki wykazały, że w pierwszych trzech próbach testowych mętność obniżała się do wartości  $0 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$ , a następnie wzrastała do  $3 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$  przy dawce wapna powyżej  $18 \text{ mgCaO}/\text{dm}^3$ . Odczyn wody wzrastał od 6,95 do 7,9. Zasadowość wzrastała od 0,25 do 0,70  $\text{mval}/\text{dm}^3$ . Uzyskane wyniki w takich wskaźnikach jak barwa, utlenialność i twardość ogólna zobrazowano na rys. 4. Z rys. 4 wynika, że przy stałej dawce ozonu w wysokości  $1,2 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$  w procesie ozonowania wstępnego oraz przy wzrastających dawkach koagulanta i wapna nie następuje dalsze obniżenie się barwy wody uzdatnionej. Obniżeniu ulega utlenialność do wartości  $1,9 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$  tylko przy stałej dawce ozonu  $0,8 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$  w procesie ozonowania wtórnego. Dalszy wzrost wapna i dawki ozonu w procesie ozonowania wtórnego powoduje ponowny wzrost utlenialności. Twardość ogólną rośnie proporcjonalnie wraz ze wzrostem dawki wapna. Zauważyć należy, że przy dawce wapna powyżej  $18 \text{ mgCaO}/\text{dm}^3$  mętność wzrasta do  $3 \text{ mgSiO}_2/\text{dm}^3$ , twardość do  $1,25 \text{ mval}/\text{dm}^3$ .

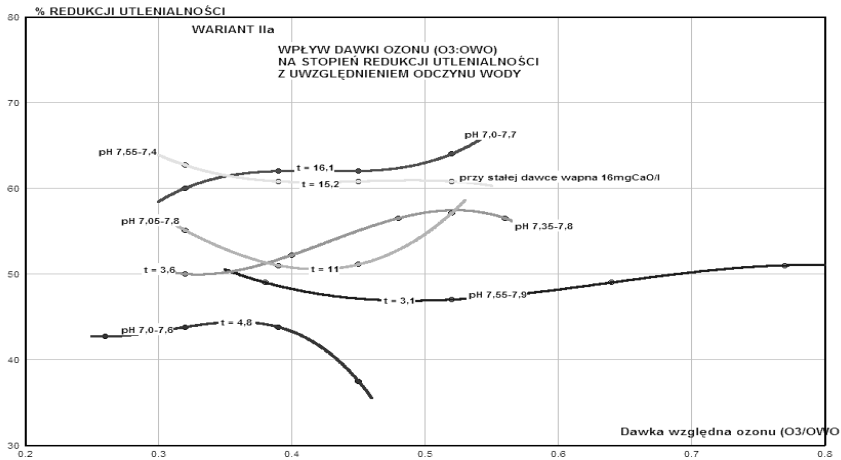


Rys. 4. Zmienność barwy, utlenialności i twardości wody w okresie wiosenno-letnim w zależności od dawki reagentów przy stałej dawce  $1,2 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$  w procesie ozonowania wstępnego

Fig. 4. Change of colour, oxidibility and toughness of water in spring and summer time subject to doses of reacting substances provided the dose  $1,2 \text{ mgO}_3/\text{dm}^3$  is constant within the introductory ozonation process

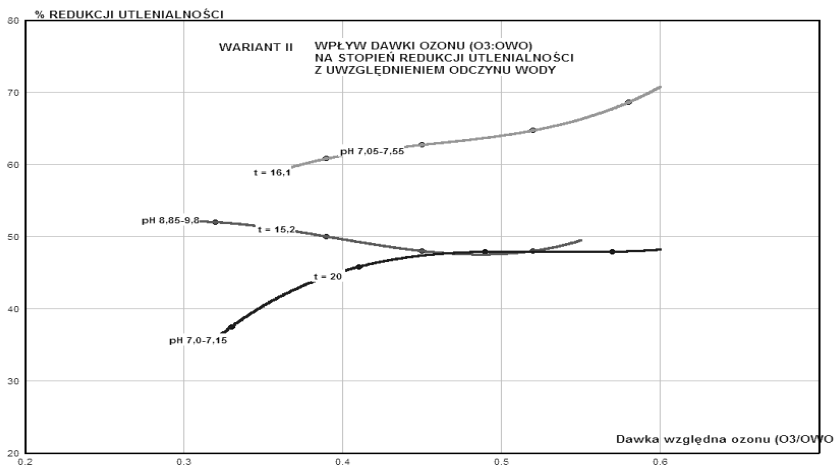
#### 4. Dyskusja wyników badań

Analizę efektów uzdatniania wody przeprowadzono w oparciu o wyniki badań technologicznych, przyjmując jako efekt obniżenie utlenialności. Analizy dokonano dla wariantów technologicznych WII, WIIa, WIII i WIV, przyjmując względną dawkę ozonu w stosunku do zawartości OWO w wodzie surowej. Wyniki przeprowadzonej analizy zobrazowano na rys 5,6 i 7.



Rys. 5. Wpływ względnej dawki ozonu ( $O_3/O_{VO}$ ) na efektywność obniżenia utlenialności wody w zależności od jej temperatury i odczynu w układzie technologicznym WIIa

Fig.5. Influence of a relative dose of ozone ( $O_3/O_{VO}$ ) on effectiveness of water oxidizability reduction subject to its temperature and pH in WIIa technology configuration



Rys. 6. Wpływ względnej dawki ozonu ( $O_3/O_{VO}$ ) na efektywność obniżenia utlenialności wody w zależności od jej temperatury wody i odczynu w układzie technologicznym WII

Fig.6. Influence of a relative dose of ozone ( $O_3/O_{VO}$ ) on effectiveness of water oxidizability reduction subject to its temperature and pH in WII technology configuration

Wyniki obrazujące redukcję utlenialności preferują wariant technologiczny WII. Dla wody o temperaturze 16,1 °C i odczynie pH 7,05÷7,55, stosując niewielkie dawki wapna (rys 6), osiągnięto redukcję utlenialności od 60 do 68%. Każdorazowo wzrost dawki ozonu powodował większą redukcję utlenialności. Zaniechanie ozonowania wtórnego (WIIa-rys.5) powoduje obniżenie utlenialności maksymalnie do 64%. Badania technologiczne prowadzone na wodzie o różnej temperaturze i zróżnicowanej dawce wapna wykazały, że najlepsze wyniki redukcji utlenialności osiągnięto dla temp. 15÷16°C, stosując niewielkie dawki wapna. Niska temperatura wody (3,1÷4,8 °C) znacznie obniża efekty uzdatniania, a efektywność procesu redukcji utlenialności spada do 50%. Z uwagi na stosunkowo niskie wskaźniki zanieczyszczeń wody surowej dobre efekty redukcji utlenialności (62%) osiągnięto w wariantcie technologicznym WIV (bez koagulacji i sorpcji na węglu aktywnym), lecz przy wysokiej temperaturze wody surowej (17,5°C) oraz przy wysokich dawkach wapna (14-20 mg CaO/dm<sup>3</sup>) uzyskując pH wody uzdatnionej 8,1.

## 5. Podsumowanie i wnioski

W przypadku uzdatniania wód powierzchniowych pochodzących ze zlewni górskich o dużej zmienności ich zanieczyszczeń powodowanymi warunkami klimatycznymi muszą być zakładane wysokie efekty uzdatniania w każdym okresie roku. Powyższe fakty wskazują na potrzebę zaprojektowania układu technologicznego uzdatniania wody zatrzymującego i unieszkodliwiającego mikroorganizmy, zanieczyszczenia organiczne rozpuszczone, a także mikrozanieczyszczenia typu chemicznego w tym toksyczne produkty uboczne. Zlewnia hydrologiczna zbiornika „Sosnówka” ma charakter górski z dużymi kontrastami warunków klimatycznych. Dotyczy to zarówno temperatur jak i opadów. Na obszarze zlewni brak jest istotnych źródeł zanieczyszczeń. Na obszarze zlewni warunki hydrogeologiczne sprzyjają szybkiemu spływowi wód powierzchniowych z części opadów atmosferycznych. Wody powierzchniowe w tym rejonie są pod wpływem kwaśnych deszczów. Szczególnie duże zawieszenie opadów atmosferycznych obserwuje się w wysokich partiach Karkonoszy, gdzie pH deszczu często jest poniżej 4 [26,27].

Wykonane analizy wody w okresie badawczym potwierdziły zmienny charakter wód powierzchniowych analizowanego rejonu górskiego. Istotną rolę wyrównania składu wody odgrywa tu zbiornik „Sosnówka”, którego głównym zadaniem jest gromadzenie zapasu wody dla miejscowego wodociągu. Przeprowadzone badania wody odbiegają od prognozy sporządzonej na etapie przygotowywania projektu budowy zakładu uzdatniania wody w oparciu o analizy wody pobranej z potoków zasilających zbiornik retencyjny. Szczególnie różnice zaobserwowano w okresie zimowym w takich wskaźnikach jak; zasadowość, twardość, zasolenie, temperatura. W okresie letnim, woda charakteryzuje się niską zasadowością i twardością. Zasadowość wody wynosi od 0,50 do 0,65 mval/dm<sup>3</sup>, a twardość ogólna od 0,70 do 0,90 mval/dm<sup>3</sup>. Odczyn wody w pobliżu obojętnego i wynosi od pH 6,60 do pH 7,3. Badania potwierdziły niską zawartość związków organicznych i brak pestycydów.

Głównym celem badań technologicznych było ustalenie takiej technologii uzdatniania wody, aby w każdym okresie roku hydrologicznego woda podawana do systemu wodociągowego spełniała warunki określone w normach [9,10]. Badania technologiczne wykazały, że dla jakości wody surowej charakterystycznej dla okresu letniego wystarczy prowadzić proces uzdatniania polegający na cedzeniu przez sito o wymiarach 1x1mm, wstępnym

ozonowaniu, korekcie pH wodą wapienną i filtracji przez złożo antracytowo-piaskowe. Biorąc po uwagę zmiany składu wody w ciągu roku (np. roztopy), wymagany będzie okresowo proces koagulacji celem usunięcia barwy, mętności i obniżenia utlenialności do wartości normowych. Cechy jakościowe wody w okresie ustabilizowanych warunków atmosferycznych wskazują, że nie konieczne jest w procesie uzdatniania wody prowadzenie sorpcji na węglu aktywnym. Mimo wszystko zasadne jest pozostawienie tego procesu z uwagi na możliwość zanieczyszczenia wody rozpuszczonymi związkami organicznymi.

Na podstawie wyników badań technologicznych wykonanych na stacji pilotowej można sprecyzować następujące wnioski:

1. Badania technologiczne prowadzone na wodzie powierzchniowej charakterystycznej dla zlewni górskiej o dużej zmienności jej jakości wykazały, że najwyższą efektywność redukcji zanieczyszczeń uzyskano stosując ozonowanie wstępne przed procesem koagulacji powierzchniowej w złożu antracytowo-piaskowym filtrów pośpieszonych w połączeniu z ozonowaniem wtórnym przed procesem sorpcji na węglu aktywnym.
2. Badania potwierdziły istotny wpływ procesu ozonowania wstępnego na końcowe efekty uzdatniania wody. Proces ozonowania wstępnego może obniżyć dawkę koagulantu. Dodatkowo ozonowanie wstępne ułatwi wytrącanie glonów i fitoplanktonu w okresach ich ewentualnych zakwitów.
3. Badania wykazały potrzebę różnicowania wielkości dawek reagentów w procesie uzdatniania w zależności od jakości wody surowej. W okresach roztopowych, dużych opadów, gdy jakość wody znacznie się pogarsza dawkę ozonu powinna być zwiększona z  $0,75$  do  $1,4$   $\text{mgO}_3/\text{dm}^3$ , dawka koagulantu z  $1,0$  do  $1,6$   $\text{mgAl}/\text{dm}^3$  oraz dawka wapna z  $5\div 10$  do  $14\div 16$   $\text{mgCaO}/\text{dm}^3$ . W okresach (np zimowych), gdy woda zawiera znacznie mniej zanieczyszczeń wymaganą jakość zapewni układ technologiczny z zastosowaniem następujących procesów: cedzenie przez sito  $1\times 1$  mm, ozonowanie wstępne, korekta odczynu wodą wapienną, filtracją przez złożo antracytowo-piaskowe, filtracja przez złożo węgla aktywnego.

## Bibliografia

- [1] Balcerzak W., Łuszczek B.: Badania pilotowe jako metoda doboru węgla aktywowanego w procesie uzdatniania wody. „Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle” Politechnika Częstochowska Konferencje 59, 2006 V Konferencja Naukowo-Techniczna str.213, 2006,
- [2] Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego we Wrocławiu: Analiza wariantowych lokalizacji Zakładu Uzdatniania Wody dla potrzeb Jeleniogórskiego Zespołu Miejskiego, Wrocław, 1994,
- [3] Dojlido J.: Chemia wody Arkady W-wa, 1997,
- [4] Dyrektywy EWG: zeszyt: Standardy EWG w dziedzinie ochrony wód i powietrza, Instytut Ochrony Środowiska, W-wa, 1993,

- [5] Instytut Ochrony Środowiska – oddział we Wrocławiu: Badania jakościowe i technologiczne oraz prognoza jakości wody z planowanego zbiornika „Sosnówka” na rzekach Czerwonca i Czerwonym Potoku dla potrzeb zaopatrzenia w wodę Jeleniogórskiego Zespołu Miejskiego; Wrocław 1986,
- [6] Konarczk T.: Sprawozdanie z badań wody ze zbiornika „Sosnówka” oraz rzeki Podgórna w okresie letnim 2005; Budimex-Dromex SA, Cadagua SA, 2005,
- [7] Konarczak T.: Sprawozdanie z badań wody ze zbiornika „Sosnówka” oraz rzeki Podgórna w okresie zimowym; Budimex-Dromex SA, Cadagua SA, 2006,
- [8] Konarczak T.: Sprawozdanie z badań jakościowych i technologicznych nad uzdatnianiem wody ze zbiornika retencyjnego „Sosnówka” na stacji pilotażowej dla potrzeb ZUW Jelenia Góra, raport końcowy; Budimex-Dromex SA, 2006, Cadagua SA,
- [9] Kowal A.L.: Zakwaszenie wód w potokach górskich. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry”, Materiały konferencyjne, wyd. PZITS nr 746, str. 153-157, 1997,
- [10] Kowal A,L i zespół: Weryfikacyjne badania technologiczne założeń procesowych przyjętych przez BBK Sp z o.o. we Wrocławiu w koncepcji projektowej Zakładu Uzdatniania Wody „Sosnówka” dla potrzeb zaopatrzenia w wodę Jeleniogórskiego Zespołu Miejskiego - etap II; IOŚ – oddział we Wrocławiu, Wrocław 1998,
- [11] Kowal A,L: Uzdatnianie wody ze zbiornika zaporowego „Sosnówka” dla zaopatrzenia aglomeracji Jelenia Góra; Wrocław, 2002,
- [12] Kowal A.L., Świdarska-Bróż M.: Oczyszczanie wody, PWN SA W-wa, 2003,
- [13] Kowal A.L: Ocena agresywności wody zbiornika „Sosnówka”, maszynopis, Wrocław 15.05.2006.
- [14] Mołczan M., Biłyk A.: Usuwanie substancji organicznych z wody w procesach wymiany jonowej, koagulacji i adsorpcji. „Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle” Politechnika Częstochowska Konferencje 59, V Konferencja Naukowo-Techniczna str.204, 2006,
- [15] Piasecki J; Charakterystyka zbiornika „Sosnówka” dla potrzeb Zakładu Uzdatniania Wody; Wrocław, 1997,
- [16] Rak A.: Raport przejściowy nr 2 za okres 01.05.2005-30.11.2005 projektu „Zaopatrzenie w wodę i oczyszczanie ścieków w Jeleniej Górze – Inżynier Kontraktu; Project Management Limited Dublin, Ireland oddział w Polsce; Wrocław 2005,
- [17] Rak A.: Raport przejściowy nr 3 za okres 01.11.2005-30.04.2006 projektu „Zaopatrzenie w wodę i oczyszczanie ścieków w Jeleniej Górze – Inżynier Kontraktu; Project Management Limited Dublin, Ireland oddział w Polsce; Wrocław 2006,
- [18] Rak A.: Raport przejściowy nr 4 za okres 01.05 2006-30.11.2006 projektu „Zaopatrzenie w wodę i oczyszczanie ścieków w Jeleniej Górze – Inżynier Kontraktu; Project Management Limited Dublin, Ireland oddział w Polsce; Wrocław 2006,
- [19] Rozporządzenie: Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29.03.2007 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. Nr 61, poz. 417, 2007,



- [20] Rybicki S.A.: Tendencje w uzdatnianiu wody dla wybranych miast we Francji i Niemczech; Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zaopatrzenie w wodą miast i wsi” Poznań, Wyd. PZITS/oddz. Poznań, ISNB 83-902173-8-4 str. 289, 1996,
- [21] Sobesto J.: Wybrane aspekty uzdatniania wód powierzchniowych dla celów konsumpcyjnych VIII Krajowa, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona jakości i zasobów wód”, Materiały Konferencyjne str. 235, 1998,
- [22] Sozański M.M.,1984: Problematyka badawcza w projektowaniu i eksploatacji zakładów uzdatniania wody, Materiały konferencyjne. Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi, PZITS, Poznań,1984,
- [23] Sozański M.M, Walkowiak J.J.: Chemiczne utlenianie w uzdatnianiu wody; Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zaopatrzenie w wodą miast i wsi” Poznań, Wyd. PZITS/oddz. Poznań, ISNB 83-902173-8-4 str. 375, 1996,
- [24] Sozański M.M, Urbaniak A: Nowe doświadczenia i tendencje w rozwoju technologii uzdatniania wody. Mat. Jubileuszowego Sympozjum z okazji 15 LECIA Katedry Technologii Wody i ścieków politechniki gdańskiej Wyd, PG Gdańsk, 1998,
- [25] Sozański M.M., red.: Wodociągi i Kanalizacja tradycja i współczesność pod redakcją Marka M Sozańskiego 2002, Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, str,47-57, 221-252, 847-870, 2002,
- [26] Sozański M. M., Olanczuk-Neyman K.,2002: Stan i perspektywy rozwojowe Technologii Uzdatniania Wody jako współczesnej dyscypliny nauki. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN VOL. 9 Lublin 2002,
- [27] Twarowski R., i inni: Wielkości zanieczyszczeń wprowadzane z opadem atmosferycznym na tereny zlewni Bobru i Baryczy.III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry”, Materiały konferencyjne, wyd. PZITS nr 746, str. 160-169, 1997,
- [28] Wilmański K.: Mechanizm pracy aktywnych biologicznie filtrów węglowych na podstawie badań w skali pilotowej i technicznej. Materiały Konferencyjne. Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, str. 249-260, 2004.

