

Jan Pawełek, Władysław Grenda

## Wpływ zbiorników retencyjnych na ujęciu z Rudawy na jakość wody przeznaczonej do zaopatrzenia Krakowa

System wodociągowy Krakowa korzysta z zasobów wód powierzchniowych ujmowanych z czterech rzek oraz w niewielkiej części z zasobów wód podziemnych. Jedną z tych rzek jest Rudawa, która od 1955 r. jest źródłem wody dla mieszkańców Krakowa, oczyszczanej w zakładzie wodociągowym „Rudawa”. Zanieczyszczenie wody w Rudawie oraz naturalne, niekiedy bardzo znaczne, pogorszenie jej jakości [1], powodowały przestoje w pracy zakładu. W celu usunięcia tych trudności oraz poprawy jakości wody ujmowanej z Rudawy wybudowano dwa zbiorniki w rejonie ujęcia, które włączono do eksploatacji w 1998 r. Umożliwiają one retencjonowanie ujętej wody rzecznej przed jej dostarczeniem do układu technologicznego oczyszczania wody. Zapas wody zgromadzony w tych zbiornikach pozwala na rezygnację z jej poboru z rzeki podczas większego zanieczyszczenia wody (duża mętność po intensywnych opadach i podczas roztopów, prace w korycie rzeki powyżej ujęcia, incydentalne skażenia wody). Zbiorniki umożliwiają pobór wody w ilości  $1,0\text{ m}^3/\text{s}$ , niezależnie od wahań przepływu w Rudawie, oraz zapewniają 10-dobowy zapas w przypadku skażenia wody w rzece.

Przetrzywanie wody w zbiornikach przez określony czas powoduje zmianę jej cech fizycznych, chemicznych, a także biologicznych. Na zmianę tych cech, a zatem na jakość wody pobieranej ze zbiorników może mieć wpływ wiele czynników zależnych od uwarunkowań technologicznych i konstrukcyjnych zbiorników. Do podstawowych czynników należą czas przetrzymania wody w zbiorniku, częstość i zakres wahań zwierciadła wody, pora roku i stan pogody, głębokość zbiornika, stan dna i ścian zbiornika mających kontakt z wodą, sposób eksploatacji zbiornika oraz przepływ wody przez zbiornik gwarantujący jej dobre mieszanie i pełną wymianę [2].

W pracy podjęto problem oceny wpływu zbiorników retencyjnych na zmiany wartości wybranych wskaźników jakości wody ujmowanej z Rudawy na skutek jej magazynowania.

### Charakterystyka ujmowania i retencjonowania wody

Rudawa jest lewobrzeżnym dopływem Wisły o długości 40,8 km i powierzchni zlewni  $338,5\text{ km}^2$ . Charakterystyczną cechą Rudawy jest stosunkowo duże wyrównanie

przepływów, bowiem  $2/3$  stanowią wody z zasilania podziemnego, a tylko  $1/3$  wody pochodzi ze spływów powierzchniowych. Dzięki temu w okresie bezdeszczowym odpływ podziemny łagodzi niżówki, a duże wezbrania powodziowe występują bardzo rzadko [3].

Ujęcie brzegowe wody jest zlokalizowane w Szczyglicach na 8,8 km biegu rzeki. Woda piętrzona na jacie kierowana jest do Młynówki, która ma długość 700 m i doprowadza wodę do komory rozdziału, zabezpieczonej kratą o prześwicie 20 mm i zespołem sit samoczyszczących. Następnie woda kierowana jest do podsystemu retencjonowania, składającego się z dwóch osadników wstępnych i dwóch zbiorników retencyjnych.

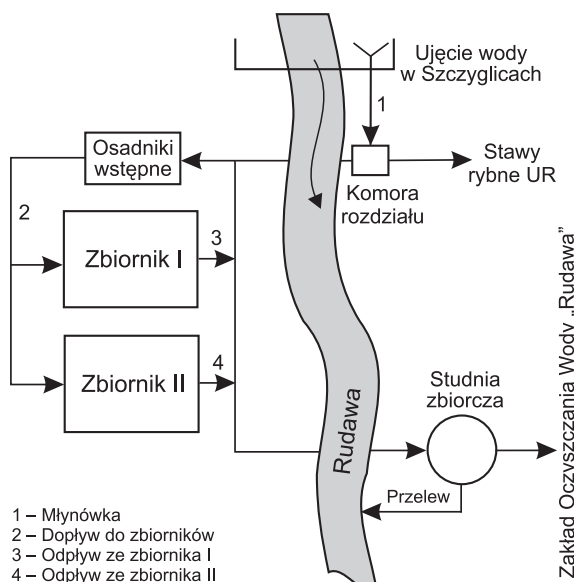
Zadaniem osadników o wymiarach  $25\text{ m} \times 120\text{ m}$  jest usunięcie z wody cząstek stałych o średnicy większej od 0,05 mm. Z osadników woda przepływa do dwóch zbiorników retencyjnych, których łączna powierzchnia wynosi  $36,7\text{ ha}$ , a objętość całkowita  $981\text{ tys. m}^3$  (pierwszy  $19,1\text{ ha}$ ,  $516\text{ tys. m}^3$ , śr. głęb. 2,80 m, drugi  $17,6\text{ ha}$ ,  $465\text{ tys. m}^3$ , 2,75 m). Zadaniem tych zbiorników jest poprawa jakości wody dostarczanej do zakładu wodociągowego, bowiem z jednej strony woda zgromadzona w zbiornikach spełnia rolę zapasu wykorzystywanego w czasie pogorszenia jakości wody w rzece, a z drugiej następuje w nich wstępne oczyszczanie wody [4]. Konstrukcja zbiorników, a także sposób doprowadzenia i odprowadzenia wody pozwalają na ich równoległą eksploatację, wykorzystanie tylko jednego lub też ich pominięcie. Woda ze zbiorników retencyjnych, a także woda dostarczana do zakładu wodociągowego z pominięciem zbiorników, dopływa do studni zbiorczej zlokalizowanej na terenie zakładu, a następnie jest tłoczona do urządzeń układu technologicznego oczyszczania wody. Czynnikiem decydującym o wyborze miejsca poboru wody (ze zbiorników lub z ich pominięciem), a także jej ilości jest jakość wody w potencjalnym miejscu poboru.

### Materiały i metody

W pracy wykorzystano wyniki badań przeprowadzonych przez laboratorium zakładu oczyszczania wody „Rudawa” (MPWiK SA w Krakowie) w latach 2006–2010. Próbkę wody do analiz pobrano w pięciu punktach zlokalizowanych na trasie przepływu wody od ujęcia do zakładu wodociągowego (rys. 1). Analizą objęto pięć wskaźników jakości wody (mętność, barwa, azot amonowy, fosforany oraz chlorofil *a*) badanych w sposób ciągły lub z częstością tygodniową.

Prof. dr hab. inż. J. Pawełek: Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, al. A. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków [rmpawele@cyf-kr.edu.pl](mailto:rmpawele@cyf-kr.edu.pl)

Mgr inż. W. Grenda: Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA, ul. Filtrowa 1, 30-148 Kraków, [wladyslaw.grenda@mpwik.krakow.pl](mailto:wladyslaw.grenda@mpwik.krakow.pl)



Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru próbek wody  
Fig. 1. Location of water sampling sites

Mętność jest właściwością optyczną, polegającą na rozproszeniu i absorbowaniu części widma promieniowania widzialnego przez cząstki zdyspergowane w wodzie [5]. Wartość mętności zależy od takich zmiennych, jak rozmiar, kształt i właściwości refrakcyjne cząstek zawieszonych w wodzie. Wyniki badań podaje się w jednostce nefelometrycznej NTU. Barwa jest cechą fizyczną wody, spowodowaną głównie obecnością naturalnych związków organicznych [5]. Azot amonowy na ogół występuje naturalnie w wodach w niewielkich ilościach, a jego głównym źródłem są procesy redukcji azotynów i azotanów, zachodzące pod wpływem siarkowodoru, substancji humusowych, żelaza(II) oraz bakterii denitryfikacyjnych [5]. Większe wartości, pojawiające się okresowo w wodach rzecznych, są pochodzenia antropogenicznego, w tym na skutek odprowadzania do wody nieoczyszczonych ścieków lub splywu nawozów z pól [6]. Obecność fosforanów w wodach jest wynikiem naturalnych procesów ich wymywania z minerałów i skał, przenikania związków fosforu stosowanych w nawożeniu gleb i ochronie roślin (insektycydy fosforoorganiczne) oraz zanieczyszczenia ściekami miejskimi lub przemysłowymi [5, 7]. Oznaczanie fosforu w wodach powierzchniowych ujmowanych przez zakłady wodociągowe ma duże znaczenie, gdyż stanowi on podstawowy czynnik biogeny, powodujący masowy rozwój glonów i stwierdzenie jego obecności zmusza ich eksploatatorów do śledzenia składu wody i zwalczania zakwitów. Eutrofizacja zbiorników wodnych, w związku z doprowadzaniem do nich substancji biogenych, stanowi niekorzystne zjawisko powodujące masowy rozwój roślinności wodnej i wzrost ilości substancji organicznych, czyli w konsekwencji zanieczyszczenie zmagazynowanej wody. Z tego względu od początku eksploatacji zbiorników retencyjnych wykonuje się oznaczenie chlorofilu *a* w celu monitorowania zakwitów.

## Analiza wyników

Wyniki badań, obejmujące wartości wybranych wskaźników z pięciu lat kalendarzowych, zestawiono w tabeli 1. Zawiera ona wartości minimalne, średnie i maksymalne w poszczególnych latach i w czasie wielolecia.

Średnia mętność wody w Młynówce mieściła się w granicach od 9,4 NTU (2007 r.) do 27,2 NTU (2010 r.), natomiast średnia mętność wody w studni zbiorczej wynosiła od 5,8 NTU (2007 r.) do 8,5 NTU (2010 r.). Średnia mętność wody w okresie wielolecia wynosiła w Młynówce 15,82 NTU, natomiast w studni zbiorczej 7,25 NTU. Nastąpiło zatem znaczne zmniejszenie wartości tego wskaźnika po przejściu wody przez zbiorniki retencyjne – w przypadku wartości średnich około 55%.

Intensywność barwy wody w Młynówce mieściła się w przedziale 4–45 gPt/m<sup>3</sup>, natomiast jej średnia wartość z okresu wieloletniego wyniosła 12 gPt/m<sup>3</sup> i była równa barwie wody na dopływie i odpływie ze zbiornika I oraz w studni zbiorczej, natomiast zakres zmienności w studni uległ zmniejszeniu do przedziału 5–25 gPt/m<sup>3</sup>. Przetrzywanie wody w zbiornikach nie spowodowało istotnych zmian wartości średnich tego wskaźnika.

Średnia zawartość azotu amonowego z wielolecia w wodzie rzecznej wynosiła 0,26 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>, natomiast w studni zbiorczej o 50% mniej – 0,13 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>. Z punktu widzenia eksploatacji zakładu oczyszczania wody istotne są wartości maksymalne wskaźników jakości ujmowanej wody, gdyż wówczas występuje największe zagrożenie niespełnieniem warunków stawianych wodzie oczyszczanej. Maksymalna zawartość azotu amonowego w wodzie rzecznej wyniosła 1,5 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>, natomiast w studni zbiorczej już tylko 0,65 gNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>.

Fosforany są drugim, obok azotu amonowego, wskaźnikiem zawartości biogenów, wpływającym na proces eutrofizacji i pogarszanie jakości zmagazynowanej wody. Średnia ilość fosforanów w wodzie z rzeki wynosiła 0,57 gPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/m<sup>3</sup>, a do studni zbiorczej dopływało 0,35 gPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/m<sup>3</sup> (dane z wielolecia), czyli prawie o 40% mniej.

W wodzie dopływającej do ujęcia chlorofil *a* kształtował się w granicach 0,0–23,65 mg/m<sup>3</sup>, przy wartości średniej 2,41 mg/m<sup>3</sup>. Na odpływie ze zbiornika I jego zawartość była już dużo większa – w granicach 0,38–323,98 mg/m<sup>3</sup> (śr. 29,9 mg/m<sup>3</sup>), natomiast woda w studni zbiorczej zawierała chlorofil *a* w ilości 0–80,94 mg/m<sup>3</sup> (śr. 10,42 mg/m<sup>3</sup>). Obecność planktonu w ujmowanej wodzie utrudnia i komplikuje proces jej oczyszczania [8, 9]. Prowadzi to w analizowanym przypadku do rezygnacji z poboru wody ze zbiornika i konieczności korzystania z wody bezpośrednio z rzeki. Są to jednak rzadkie przypadki pojawiające się najczęściej wiosną i latem, trwające nie dłużej niż dwa tygodnie. Zaobserwowano, że zakwity nie pojawiały się jednocześnie w obu zbiornikach i do tej pory zawsze można było korzystać przynajmniej z jednego źródła zmagazynowanej wody. W celu potwierdzenia wystąpienia zakwitów wody oraz określenia grupy glonów powodujących zakwit wykonuje się analizy mikroskopowe w Centralnym Laboratorium MPWiK SA w Krakowie.

Przydatność zbiorników retencyjnych podkreślają także przypadki zanieczyszczenia wody w rzece. Odprowadzenie dużego ładunku nieczyszczonych ścieków do rzeki zmusza do zamknięcia ujęcia na Rudawie i poboru wody zmagazynowanej w zbiornikach. Dlatego zbiorniki te pełnią rolę jednego z elementów tzw. multibarier [10]. W pięcioletnim okresie przeprowadzonej analizy 14-krotnie wyłączono ujęcie i pobierano wodę jedynie ze zbiorników retencyjnych, ze względu na zanieczyszczenie wody w rzece lub dużą mętność wody [7]. Gdyby nie możliwość korzystania z zapasu wody w zbiornikach, każdy z tych przypadków skończyłby się przestojem zakładu wodociągowego, co miałyby wpływ na spadek ciśnienia w strefie zasilania miasta

Tabela 1. Charakterystyka jakości wody w latach 2006–2010  
Table 1. Water quality in the time span of 2006–2010

Rok	Młynówka (1)			Dopływ do zbiorników I i II (2)			Dopływ ze zbiornika I (3)			Dopływ ze zbiornika II (4)			Studnia zbiorcza (5)		
	min.	średnia	maks.	min.	średnia	maks.	min.	średnia	maks.	min.	średnia	maks.	min.	średnia	maks.
	mętność, NTU														
2006	2,5	12,8	184	1	6,5	21	1	6,2	26	0,9	5,1	18	0,8	7	126,0
2007	2,5	9,4	34	1	7,4	18	1	5,5	20	1,4	8,5	31	1,4	5,8	20,0
2008	2,8	12,3	153	0,8	7,2	19	0,9	7,7	18	1,2	7,7	20	1,6	7,5	74,1
2009	4,4	17,4	150	1,6	10,6	72,3	1,2	8,9	64,4	1,3	7,5	23	2,6	7,4	23,5
2010	4,2	27,2	147	1,4	6,9	17,2	1,4	5,5	19	1,5	5,1	15	2,5	8,5	56,5
Wielolecie	2,5	15,82	184	0,8	7,7	72,3	0,9	6,76	64,4	0,9	6,78	31	0,8	7,25	126,0
	barwa, gPt/m <sup>3</sup>														
2006	8	13	28	8	13	25	8	14	24	6	15	25	9	12	22
2007	7	12	23	8	13	18	8	13	23	9	16	25	8	13	18
2008	7	12	26	8	12	17	7	11	16	7	12	18	8	12	17
2009	4	12	28	5	11	24	5	11	25	5	11	20	5	13	22
2010	5	12	45	5	9	22	4	9	15	4	9	16	5	12	25
Wielolecie	5	12	45	5	12	25	4	12	25	4	13	25	5	12	25
	azot amonowy, gNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /m <sup>3</sup>														
2006	0	0,25	0,63	0	0,18	0,58	0	0,17	0,70	0	0,24	0,62	0	0,14	0,48
2007	0	0,17	0,41	0	0,12	0,33	0	0,11	0,35	0	0,11	0,30	0	0,08	0,28
2008	0,2	0,30	1,50	0,02	0,18	0,60	0	0,17	0,60	0	0,13	0,30	0	0,13	0,65
2009	0,8	0,34	0,85	0,04	0,23	0,65	0,04	0,21	0,60	0,03	0,16	0,41	0	0,16	0,65
2010	0	0,25	0,85	0	0,19	0,65	0	0,19	0,65	0	0,16	0,58	0	0,14	0,65
Wielolecie	0	0,26	1,50	0	0,18	0,65	0	0,17	0,70	0	0,16	0,62	0	0,13	0,65
	fosforany, gPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /m <sup>3</sup>														
2006	0,35	0,67	1,31	0,03	0,42	1,17	0,09	0,38	0,68	0,14	0,52	0,88	0,07	0,19	0,37
2007	0,34	0,75	1,26	0,08	0,35	0,65	0,03	0,30	0,64	0,04	0,26	0,65	0,13	0,58	1,23
2008	0,27	0,60	1,19	0,05	0,25	0,57	0,05	0,26	0,61	0,02	0,17	0,44	0,18	0,47	0,79
2009	0,29	0,48	0,87	0,02	0,27	0,68	0,03	0,26	0,62	0,02	0,19	0,38	0,02	0,29	0,69
2010	0,22	0,36	0,84	0,04	0,21	0,47	0,02	0,20	0,40	0,02	0,19	0,42	0,02	0,21	0,54
Wielolecie	0,22	0,57	1,31	0,02	0,30	1,17	0,02	0,28	0,68	0,02	0,27	0,88	0,02	0,35	1,23
	chlorofil a, mg/m <sup>3</sup>														
2006	0	2,83	23,65	0,08	22,00	217,96	0,23	31,00	323,98	0,14	9,48	52,15	0,02	9,39	56,63
2007	0,24	2,67	23,60	0,82	22,57	100,50	1,58	25,39	115,02	2,39	27,95	80,82	0	8,45	54,28
2008	0,05	2,26	7,970	0,09	36,00	101,28	0,38	36,17	120,96	0,45	37,22	150,12	0,11	12,89	64,36
2009	0	2,21	12,64	0,39	28,12	333,20	1,00	34,85	331,30	0,33	35,33	127,28	0,25	11,89	80,94
2010	0	2,09	16,36	0,61	20,55	130,2	0,86	18,02	59,16	0,45	16,15	74,12	0,32	9,47	51,52
Wielolecie	0	2,41	23,65	0,08	25,85	333,20	0,38	29,90	323,98	0,14	25,23	150,12	0	10,42	80,94

przez zakład „Rudawa”. Z uwagi na długość rzeki, która wynosi zaledwie nieco ponad 30 km od źródeł do ujęcia w Szczyglicach, w czasie incydentalnego zanieczyszczenia woda na tym odcinku wymienia się w ciągu doby. Po zaniku zagrożenia można uzupełnić stan wody w zbiornikach retencyjnych.

## Wnioski

♦ Wprowadzenie zbiorników retencyjnych do ciągu technologicznego oczyszczania wody ujmowanej z Rudawy spowodowało poprawę jakości wody dostarczanej do zakładu wodociągowego. Woda w zbiornikach spełnia rolę zapasu w czasie pogorszenia jakości wody w rzece podczas dużych wezbrań i zwiększonego zanieczyszczenia wody.

♦ Średnie wartości mętności, intensywności barwy, zawartości azotu amonowego i fosforanów w wodzie dostarczanej do zakładu wodociągowego „Rudawa” ulegają zmniejszeniu podczas jej przepływu przez zbiorniki. Szczególnie korzystnie wpływają one na zmniejszenie mętności wody, bowiem w analizowanym wieloleciu średnia mętność wody w studni zbiorczej była mniejsza w stosunku do Młynówki o 55%, a zakres jej zmian uległ zawężeniu z przedziału 2,5÷184 NTU do 0,8÷126 NTU. Nastąpiło zatem znaczne zmniejszenie obciążenia układu oczyszczania wody ładunkiem zanieczyszczeń powodujących jej mętność.

♦ W okresie wiosenno-letnim jakość wody w zbiornikach ulega pogorszeniu na skutek zakwitów glonów. W czasie objętym analizą zawartość chlorofilu *a* na odpływie ze zbiornika I uległa podwyższeniu do wartości średniej 29,9 mg/m<sup>3</sup> (Rudawa – 2,41 mg/m<sup>3</sup>). Odnotowana wartość maksymalna w zbiorniku I wyniosła 333,2 mg/m<sup>3</sup>, natomiast w zbiorniku II – 324,0 mg/m<sup>3</sup>.

♦ Aby ograniczyć ilość związków biogenych w wodzie, należałoby wprowadzić strącanie związków fosforu

przed jej dopływem do zbiorników, co ograniczyłoby zjawisko zakwitów i wydłużyłoby czas wykorzystania zbiorników retencyjnych.

## LITERATURA

1. J. SANECKI: Ochrona wód ujmowanych przez MPWiK S.A. w Krakowie. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2009, nr 9, ss. 49–51.
2. J. PAWEŁEK: Zmiana mętności wody ujmowanej z Rudawy dla potrzeb Krakowa poprzez zastosowanie zbiorników zapasowych. Mat. konf. „Ochrona jakości i zasobów wód”, PZITS Oddział w Krakowie, Zakopane 2000, ss. 163–172.
3. Operat wodnoprawny na eksploatację zbiorników retencyjnych dla ZUW Rudawa. Instytut Gospodarki Przemysłowej i Komunalnej Oddział w Krakowie, Kraków 1998 (praca niepublikowana).
4. J. PAWEŁEK, W. GRENDA: Gospodarowanie wodą ujmowaną z Rudawy dla potrzeb wodociągu krakowskiego przy wykorzystaniu zbiorników ujęciowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 2011, nr 1, ss. 219–228.
5. H. ELBANOWSKA, J. ZERBE, J. SIEPAK: Fizyko-chemiczne badanie wód. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1999.
6. A. WAŁĘGA, W. MIERNIK: Tendencje zmian jakości wód rzeki Rudawy (w latach 1990–2004). *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2009, nr 9, ss. 40–42.
7. Raport zmianowy dyspozytora ZUW Rudawa. MPWiK SA w Krakowie (praca niepublikowana).
8. W. GROCHOWIECKA, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ, M. WOLSKA: Skuteczność mikrocedzenia w usuwaniu planktonu oraz wybranych zanieczyszczeń chemicznych z wody powierzchniowej. *Ochrona Środowiska* 2009, vol. 31, nr 2, ss. 25–30.
9. M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ, M. WOLSKA: Skuteczność koagulacji kontaktowej w usuwaniu substancji biogenych z wody. *Ochrona Środowiska* 2010, vol. 32, nr 2, ss. 3–7.
10. S.A. RYBICKI: System „multibariera” – sposób na zmniejszenie ryzyka dostawy wody o niewłaściwej jakości. *Ochrona Środowiska* 2001, vol. 23, nr 3, ss. 7–12.

**Pawełek, J., Grenda, W. Effect of the Storage Reservoirs at the Rudawa River Intake on the Quality of the Municipal Water for Krakow. *Ochrona Środowiska* 2011, Vol. 33, No. 4, pp. 63–66.**

**Abstract:** One of the sources of municipal water for the city of Krakow is the Rudawa river. The quality of its water, however, raised operating problems in the treatment plant, specifically during floods or over periods of incidental contamination. To reduce water quality deterioration which is concomitant with those recurrent events, two storage reservoirs (of an area of 36.7 ha and a total volume of 981,000 m<sup>3</sup>) were constructed at the riverine water intake. Both have been in service since 1998. The aim of the study reported on in this paper was to assess the contribution of the storage reservoirs to the changes in some of the parameters describing the quality of the taken-in riverine water. This was achieved by scrutinizing the results of water quality analyses (turbidity, color, ammonia nitrogen,

phosphates and chlorophyll *a*) performed in the time span of 2006 to 2010 at five sampling points along the pathway of the water from the intake, through the settling tanks and the two storage reservoirs (at their inflow and outflow), to the raw water well within the premises of the Rudawa Water Treatment Plant. The results of the study make it clear that the storage reservoirs have upgraded the quality of the water entering the treatment plant: the average values of turbidity and color, as well as those of ammonia nitrogen and phosphate concentrations, have been reduced. The favorable influence of the storage reservoirs is particularly distinct in the case of turbidity removal. Moreover, the water stored in the reservoirs is kept in reserve, to enable safe municipal supply during floods or incidental deterioration.

**Keywords:** Rudawa River, water quality, intake, storage reservoir, turbidity, color, ammonia nitrogen, phosphates, chlorophyll *a*.