



WPLYW ŚCIEKÓW OCZYSZCZONYCH NA OCZYSZCZALNI W MYŚLENICACH NA JAKOŚĆ WÓD ICH ODBIORNIKA

*Włodzimierz Miernik, Dariusz Młyński, Andrzej Wałęga,
Krzysztof Chmielowski, Paweł Karwacki*
Uniwersytet Rolniczy im Hugona Kollątaja w Krakowie

IMPACT OF TREATED SEWAGE ON SEWAGETREATMENT PLANT IN MYŚLENICE ON THE QUALITY OF THEIR RECEIVER

Streszczenie

Artykuł zawiera analizę i ocenę wpływu ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Myślenicach w latach 2008 – 2011, na skład fizyczno-chemiczny oraz jakość wód ich odbiornika – rzeki Raby. Pracę wykonano na podstawie zebranych oraz statystycznie opracowanych wyników badań, obejmujących ilość i skład ścieków oczyszczonych, odprowadzanych do Raby, a także skład wód odbiornika w przekrojach Stróże i Osieczany, znajdujących się odpowiednio powyżej i poniżej punktu zrzutu ścieków oczyszczonych. Zakres wskaźników zanieczyszczeń oznaczanych w ściekach i wodzie obejmował: zawiesinę ogólną, BZT₅, ChZT_{Cr}, fosfor ogólny oraz azot ogólny.

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że oczyszczalnia ścieków w Myślenicach, w latach 2008 – 2011, funkcjonowała prawidłowo, ponieważ oczyszczone na niej ścieki, spełniały wymogi pozwolenia wodno-prawnego, co przekładało się bezpośrednio na skuteczną ochronę przed zanieczyszczeniem wód ich odbiornika. Ponadto stwierdzono, że w obu badanych przekrojach skład fizyczno-chemiczny wód Raby był do siebie zbliżony. Potwierdziły to wyniki zastosowanego testu U Mann’a-Whitney’a, które nie wykazały statystycznie istotnych różnic pomiędzy średnimi wartościami stężeń analizowanych wskaźników zanieczysz-

czeń. Ścieki oczyszczone, odprowadzane z oczyszczalni w Myślenicach do rzeki Raby nie przyczyniają się do pogorszenia jakości jej wód.

Słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia, odbiornik, rzeka Raba

Abstract

The article contains analysis and evaluation of the impact of clean sewage on sewage treatment plant in Myślenice, in the period 2008–2011 on the physico-chemical composition and water quality of the receiver – river Raba. The analysis conducted based on collected and statistical research: amount and composition of clean sewage and composition of the water receiver in cross-section: Stróże (above of inflow clean sewage) and Osieczany (below of inflow clean sewage). The following pollution index were tested: total suspended solids, BOD₅, COD_{Cr}, total nitrogen and total phosphorus.

Based on obtained results its concluded that in period 2008 – 2011 sewage treatment plant was working properly, what explain quality of clean sewage. What reflected in directly protection of receiver water against pollution. Moreover, based on the results of U Mann Whitney test, concluded that in the both cross-section, composition of the water of Raba river was similar, what explain the results of this test, which didn't show statistically significant differences between average values of concentrations analyzed indicators of pollutions. Based on obtained results its concluded that sewage treatment plant in Myślenice doesn't negatively impact on quality of the water receiver –Raba river.

Keywords: *sewage, sewage treatment plant, receiver, river Raba*

WPROWADZENIE

Zapewnienie przynajmniej dobrej jakości wód w rzece Rabie wynika nie tylko z potrzeby wypełnienia zapisów zawartych w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RWD) i Ustawie Prawo wodne, ale też z powodu usytuowanego na niej zbiornika zaporowego Dobczyce. Zbiornik ten posiadający pojemność 125 mln m³ powstał w latach 1984 – 1987. Od momentu oddania go do eksploatacji stanowi on główne źródło wody pitnej dla mieszkańców aglomeracji krakowskiej (Balcerzak i Wisz 1991).

Zaopatrzenie w wodę oraz ochrona przed powodzią terenów położonych poniżej zapory to podstawowe funkcje zbiornika dobczyckiego. Wiadomo, że woda przeznaczona do zaopatrzenia ludności powinna odpowiadać najwyższej jakości. Stąd też jakość wód rzeki Raby i zbiornika dobczyckiego była przed-

miotem licznych badań (Bombówna 1969; Balcerzak i Wisz 1991; Kopacz i in. 2011, Kurek i in. 1993; Miernik i in. 2011). Ich wyniki potwierdzały, że jest ona daleka od stanu zadawalającego. W efekcie czego obserwowano częste zakwity wody magazynowanej w zbiorniku, z uwagi na postępujący proces jej eutrofizacji (Banaś i Styka 2006). Wskazywano przy tym na zrzuty ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych, ścieków z gospodarstw hodowlanych, a także wyplukiwane i wymywane ze zlewni związki nawozowe, jako główne przyczyny zanieczyszczenia wód alimentujących zbiornik. Dlatego konieczne było podjęcie kompleksowych działań prowadzących do znacznego ograniczenia degradacji wód rzeki i zbiornika. Pierwszym krokiem w tym kierunku było powołanie do życia w 1994 roku Związku Gmin Dorzecza Górnej Raby i Krakowa, zrzeszający gminy Dobczyce, Myślenice, Pcim, Siepraw, Tokarnie, Wieliczkę, Wiśniową, Jordanów, Lubień, Mszanę Dolną, Niedźwiedź, Rabę Wyżną, Rabkę oraz miasto Kraków. Rok później opracowano „Kompleksowy program utrzymania czystości wód zlewni Raby od źródeł do zaporę w Dobzyczach”, zakładający budowę systemu kanalizacji sanitarnej wraz z oczyszczalniami lub rozbudowę istniejących oczyszczalni dla miejscowości mających największy wpływ na degradację wód Raby. Wskazywał on też na potrzebę budowy kanalizacji deszczowej przy drodze krajowej Kraków – Zakopane, ograniczenie zanieczyszczeń obszarowych ściśle związanych z rolnictwem i erozją gleb oraz usunięcie nieprawidłowo działających wysypisk śmieci. Realizacja części założeń zawartych w tym programie doprowadziła pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku do zahamowania tendencji wzrostowej stężenia i ładunków związków biogenych, które dostawały się do zbiornika dobczyckiego (Banaś i Styka 2006).

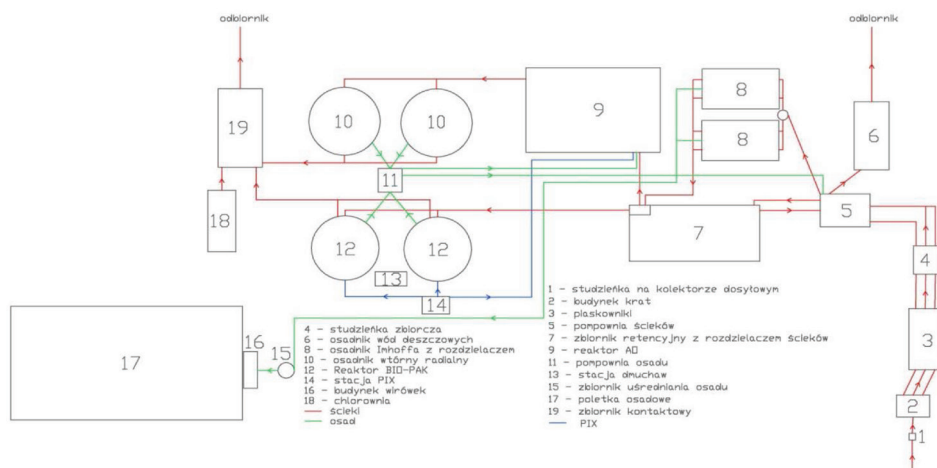
Drugim krokiem wykonanym we właściwym kierunku było niewątpliwie utworzenie i przystąpienie do krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych aglomeracji myślenickiej. Realizując oba wyżej wymienione programy na obszarze dorzecza Górnej Raby, w latach 1998 – 2011, wybudowano 771,3 km sieci kanalizacyjnej, zwiększając tym samym jej długość do 1 063,7 km. W tym samym czasie oddano do eksploatacji 11 nowych oczyszczalni, a wiele z 17 istniejących zmodernizowano. Dzięki temu ponad dwukrotnie większej ilości mieszkańców dorzecza stworzono możliwość odprowadzenia ścieków do oczyszczalni biologicznych. Prawie 40% z nich to obiekty funkcjonujące na bazie najnowocześniejszych technologii, przystosowanych do podwyższonego usuwania ze ścieków związków biogenych. Łączna przepustowość oczyszczalni wzrosła w tym samym okresie czasu z 21,179 (rok 1998) do 53,094 tys. m³ · d⁻¹ (rok 2011). Pozwoliło to na biologiczne oczyszczenie 7,6 mln m³ ścieków komunalnych, nie licząc wód infiltracyjnych i ścieków dowożonych do oczyszczalni beczkowozami (Bank...2011).

Nie ulega wątpliwości, że inwestycją szczególnej wagi, mającą bardzo duże znaczenie dla ochrony wód rzeki Raby, a tym samym i wód zbiornika dob-

czykiego, była również modernizacja oczyszczalni ścieków w Myślenicach, a zwłaszcza ta ostatnia, zakończona w roku 2008. Zrzut oczyszczonych na niej ścieków następuje bowiem w odległości zaledwie 1,2 km od cofki zbiornika, co powoduje brak możliwości samooczyszczenia się wód rzeki na tak krótkim odcinku. Praktycznie więc wszystkie ładunki zanieczyszczeń odprowadzane z myślenickiej oczyszczalni do Raby trafiały bezpośrednio do zbiornika (Banaś i Styka 2006). Stąd też zainspirowało to Autorów pracy do postawienia tezy badawczej zawartej w pytaniu: czy i na ile ścieki odpływające ze zmodernizowanej oczyszczalni w Myślenicach mają wpływ na jakość wód ich odbiornika – rzeki Raby? To właśnie tak sformułowane pytanie stanowi zasadniczy cel niniejszej pracy.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Oczyszczalnia ścieków w Myślenicach obsługuje aglomeracje myślenicką liczącą 24 400 RLM. W ciągu doby, w okresie bezdeszczowym, może oczyścić 5 800 m³ ścieków, natomiast w okresie deszczowym 18 000 m³. Jej ciąg technologiczny przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Myślenicach

[źródło: opracowanie własne]

Figure 1. Scheme of technological system of sewage treatment plant in Myślenice

[source: own elaboration]

Oczyszczalnia ścieków w Myślenicach jest obiektem pracującym w systemie dwustopniowym, mechaniczno-biologicznym. Procesy biologicznego oczyszczania ścieków, zachodzące w reaktorach biologicznych pracujących

w systemie A/O są dodatkowo wspomagane reaktorem biologicznym typu BIO-PAK. Przed biologicznym oczyszczaniem ścieki poddawane są procesowi mechanicznego czyli tzw. wstępnego oczyszczania, realizowanego na kratkach oraz w piaskownikach. Dodatkowo przed odprowadzeniem oczyszczonych ścieków do odbiornika (rzeka Raba), poddawane są one procesowi chlorowania.

Zrzut ścieków oczyszczonych do odbiornika uregulowany jest pozwoleniem wodno-prawnym. Zostało ono udzielone eksploatatorowi oczyszczalni, którym jest Miejski Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o. w Myślenicach, przez Starostę Powiatu Myślenickiego, na okres do 2019 roku. Zapisane w nim warunki normujące objętość oraz skład ścieków oczyszczonych, odprowadzanych do odbiornika zestawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Objętość i skład ścieków oczyszczonych, odprowadzanych z oczyszczalni w Myślenicach do rzeki Raby wg pozwolenia wodno-prawnego

Table 1. Volume and composition of clean sewage discharged from sewage treatment plant in Myślenice to river Raba by water-law permission

Objętość ścieków oczyszczonych [m ³ · d ⁻¹]		Wskaźnik [mg · dm ⁻³]				
Pogoda sucha	Pogoda deszczowa	Zawiesina ogólna	BZT ₅	ChZT _{Cr}	Azot ogólny	Fosfor ogólny
11 600	18 000	35	15	75	1	15

źródło/source: opracowania własne/own elaboration

METODYKA BADAŃ

Podstawowymi materiałami empirycznymi, które wykorzystano do realizacji celu pracy były wyniki analiz składu fizyczno-chemicznego wód rzeki Raby z lat 2008 – 2011. Udostępnił je Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie (WIOŚ Kraków). Pochodzą one z dwóch przekrojów kontrolno-pomiarowych zlokalizowanych na Rabie, a mianowicie: Stróża – położonego powyżej punktu zrzutu ścieków oraz Osieczany – położonego poniżej punktu zrzutu ścieków.

Do oceny wpływu ścieków oczyszczonych na rzekę wykorzystano wyniki oznaczeń wskaźników takich jak: zawiesina ogólna, BZT₅, ChZT_{Cr} oraz azot ogólny i fosfor ogólny. Są to więc te same wskaźniki, które muszą być obligatoryjnie kontrolowane przez eksploatatora oczyszczalni w ściekach oczyszczonych, odprowadzanych do odbiornika. W rozpatrywanym okresie czasu badania jakości prób ścieków surowych oraz oczyszczonych wykonywano średnio raz w ciągu miesiąca, a liczba prób pobranych do analizy to 39, w odniesieniu do

każdego wskaźnika zanieczyszczeń. W przypadku określenia jakości wód rzeki Raby stężenie zawiesiny ogólnej w przekroju Stróża zostało oznaczone 29 razy, natomiast dla Osieczan wykonano 46 analiz. Dla BZT_5 w przekroju Stróża oznaczenie tego wskaźnika wykonano 31-krotnie, a dla Osieczan – 47 razy. Dla $ChZT_{Cr}$ jego wielkości w przekroju Stróżna zostało oznaczone 26 razy, w przekroju Osieczany analizę wykonano 38 razy. W przypadku związków biogenych ich stężenie w przekroju Stróża określono 5-cio oraz 16-krotnie odpowiednio dla N_{og} i P_{og} oraz w przekroju Osieczany: 19 i 31 razy dla N_{og} i P_{og} . Próbkę ścieków surowych i oczyszczonych oraz próbki wody w analizowanych przekrojach badawczych zostały pobrane przez eksploatatora oczyszczalni w Myślenicach oraz Przez WIOŚ Kraków zgodnie z wymogami norm: PN-74/C-04620/00 – „Woda i ścieki – Pobieranie próbek – Postanowienie ogólne i zakres normy” oraz PN-EN 25667-2: 1999 – „Jakość wody – Pobieranie próbek – Wytyczne dotyczące technik pobierania próbek”. Jakość ścieków oraz wody rzeki Raby, powyżej oraz poniżej punktu zrzutu ścieków została przebadana przez eksploatatora oczyszczalni w Myślenicach oraz WIOŚ Kraków, wg zapisów w obowiązujących normach: PN-EN 1899-2:2002 – „Jakość wody – Oznaczanie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n dniach (BZT_n) – Część 2: Metoda do próbek nierozcieńczonych”; PN-ISO 15705:2005 – „Jakość wody – Oznaczanie indeksu chemicznego zapotrzebowania tlenu (SP-ChZT) – Metoda zminiaturyzowana z zastosowaniem szczelnych probówek”; PN-EN 872:2007 – „Jakość wody – Oznaczanie zawiesin – Metoda z zastosowaniem filtracji przez sączi z włókna szklanego; PN-EN ISO 11905-1:2001 – „Jakość wody – Oznaczanie azotu – Część 1: Metoda mineralizacji nadtlenu dwusiarczanem”; PN-EN ISO 15681-2:2006 – „Jakość wody – Oznaczanie ortofosforanów i fosforu ogólnego metodą analizy przepływowej (FIA i CFA) – Część 2: Metoda ciągłej analizy przepływowej (CFA)”.

Powyższe dane zostały uzupełnione materiałami udostępnionymi przez MPWiK Sp. z o. o. w Myślenicach. Były wśród nich: dokumentacja techniczna obiektu, w tym pozwolenie wodno-prawne, odczyty dobowych objętości ścieków oczyszczonych w wieloleciu 2008 – 2011, wyniki analiz próbek ścieków oczyszczonych, również obejmujące wielolecie 2008 – 2011.

Pozyskane dane, w tym wyniki analiz próbek ścieków i wody Raby, w obu przekrojach poddano analizie statystycznej, której zakresem objęto: obliczenia wartości podstawowych statystyk opisowych (wartości minimalnej, średniej i maksymalnej oraz odchylenia standardowego i współczynnika zmienności) dla każdego z oznaczanych wskaźników fizyko-chemicznych, sprawdzenie statystycznej istotności różnic średnich stężeń wskaźników zanieczyszczeń oznaczanych w wodzie Raby w obu przekrojach testem U Mann’a-Whitney’a na poziomie $\alpha = 0,05$ (Mason i in. 2002), przy czym w pierwszej kolejności sprawdzono normalność rozkładu każdego wskaźnika testem Shapiro-Wilka (Shapiro i Wilk 1965).

Ponadto dla oceny zmian jakości wody w rzece Raby, w obu punktach pomiarowo-kontrolnych posłużono się Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych. Zgodnie z przywołanym rozporządzeniem każdy wynik oznaczenia danego wskaźnika zakwalifikowano do odpowiedniej klasy jakości.

WYNIKI BADAŃ

Jednym z istotnych czynników mającym wpływ na pracę oczyszczalni jest jej obciążenie hydrauliczne. Obciążenie hydrauliczne oczyszczalni ścieków w Myślenicach przeanalizowano przez pryzmat średnich dobowych objętości ścieków (w tym ekstremalnych) oczyszczonych, odprowadzonych do rzeki Raby w okresie od sierpnia 2008 do końca 2011 roku. Objętości zestawiono w tabeli 2.

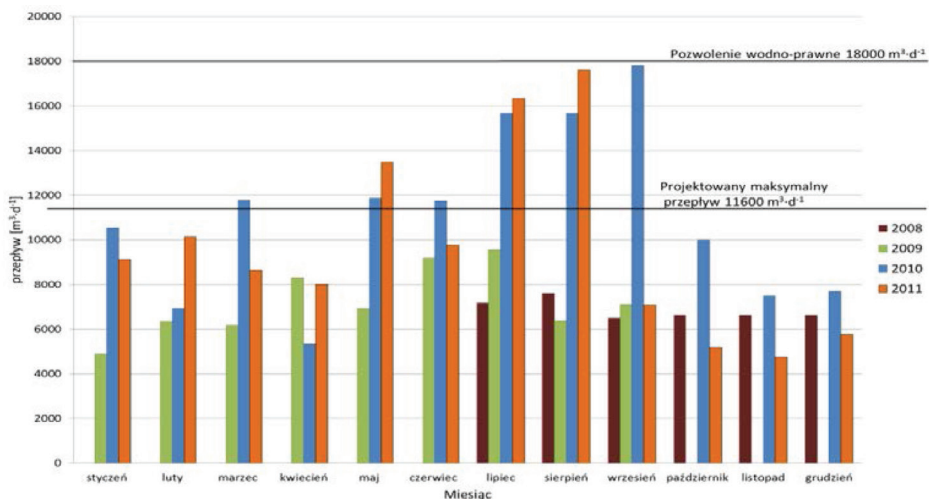
Tabela 2. Objętość ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Myślenicach w latach 2008 – 2011

Table 2. Volume of clean sewage on sewage treatment plant in Myślenice in period 2008 – 2011

Rok	Objętość ścieków oczyszczonych [m ³ ·d ⁻¹]		
	minimalna	maksymalna	średnia
2008	6 500	7 600	6 898
2009	4 891	9 550	7 120
2010	5 336	17 813	11 041
2011	4 745	17 609	9 652

źródło/source: opracowania własne/own elaboration

Analizując dane zestawione w tabeli 2 stwierdzono, że objętość ścieków jakie oczyszczono w analizowanym okresie, była zróżnicowana. Wskazuje na to stosunek przepływów minimalnych do maksymalnych. Wahał się on od 1,2 (w roku 2008) do 3,7 (w roku 2011). Nie ulega wątpliwości, że zaobserwowane wahania są wynikiem dopływu do kanalizacji, a następnie do oczyszczalni wód opadowych. Wpływ typu pogody (sucha, deszczowa) na objętość ścieków oczyszczonych, odprowadzonych z oczyszczalni Myślenicach do rzeki Raby, dokumentuje szczegółowo rysunek 2. Widać na nim wyraźnie, że maksymalne średnie dobowe objętości ścieków oczyszczonych w rozpatrywanym wieloleciu miały miejsce zazwyczaj w miesiącu marcu oraz miesiącach letnich, w okresie od maja do września. Przypadają więc one na czas wiosennych roztopów i letnich opadów.



Rysunek 2. Średnie dobowe objętości ścieków oczyszczonych na oczyszczalni w Myślenicach w poszczególnych miesiącach wielolecia 2008 – 2011 [źródło: opracowanie własne]

Figure 2. Average daily quantity of clean sewage on treatment sewage plant in Myślenice in period 2008 – 2011 [source: own elaboration]

Bardzo ważnym elementem który pozwala ocenić prawidłowość funkcjonowania oczyszczalni jest skład fizyczno-chemiczny ścieków oczyszczonych, odpływających do odbiornika. W tabeli 3 przedstawiono skład ścieków odprowadzanych z oczyszczalni w Myślenicach do rzeki Raby, w latach 2008 – 2011.

Tabela 3. Skład ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Myślenicach, w latach 2008 – 2011.

Table 3. Composition of clean sewage on sewage treatment plant in Myślenice, in period 2008 – 2011

Wskaźnik [mg · dm ⁻³]	Statystyka				
	minimum	maksimum	średnia	odchylenie standardowe	współczynnik zmienności
Zawiesina ogólna	2,0	22,0	4,0	3,9	0,93
BZT ₅	0,6	12,5	6,7	2,3	0,81
ChZT _{Cr}	10,7	46,0	28,0	7,5	0,31
Azot ogólny	4,7	24,1	14,4	3,7	0,32
Fosfor ogólny	0,1	0,8	0,4	0,2	0,64

źródło/source: opracowania własne/own elaboration

Jak wynika z tabeli 3 stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych w oczyszczalni w Myślenicach wahały się w przedziale od 2,0 do 22,0 mg·dm⁻³. Oznacza to, że wszystkie badane próbki ścieków ze względu na ten wskaźnik spełniały wymogi pozwolenia wodno-prawnego, w którym wartość graniczną ustalono na poziomie 35 mg·dm⁻³. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej w badanym okresie wynosiło 4,0 mg·dm⁻³, a zatem stanowiło 11% wartości granicznej. Z kolei obliczona wartość odchylenia standardowego wynosiła 3,9 mg·dm⁻³, a współczynnika zmienności 0,93. Stężenia zawiesiny ogólnej w próbkach ścieków oczyszczonych cechowały się więc wysoką zmiennością.

Zawartość związków organicznych w ściekach oczyszczonych, oprowadzanych do rzeki Raby, (wyrażona wartością BZT₅) wahała się w przedziale od 0,6 do 12,5 mgO₂·dm⁻³, przyjmując wartość średnią równą 6,7 mgO₂·dm⁻³. Wszystkie zatem badane próbki ścieków spełniały wymogi pozwolenia wodno-prawnego, gdzie graniczna wartość BZT₅, określona w pozwoleniu wodno-prawnym wynosi 15 mgO₂·dm⁻³. Średnia wartość BZT₅ stanowiła więc 45% wartości granicznej. Odchylenie standardowe było równe 2,3 mgO₂·dm⁻³, a współczynnik zmienności 0,81. Zawartość związków organicznych w oczyszczonych ściekach cechowała się, podobnie jak w zawiesiny ogólnej, wysoką zmiennością. W przypadku ChZT_{Cr}, wartość tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych, oscylowały pomiędzy 10,7 a 46,0 mgO₂·dm⁻³, natomiast jego wartość średnia wyniosła 28,0 mgO₂·dm⁻³. Stwierdzono zatem, że we wszystkich badanych próbkach ścieków, wartości ChZT_{Cr} spełniały wymogi pozwolenia wodno-prawnego. Ustalono w nim graniczna wartość dla tego wskaźnika wynosi 75 mgO₂·dm⁻³. Średnia wartość ChZT_{Cr} równa 28,0 mgO₂·dm⁻³ stanowiła więc 37% wartości granicznej. Obliczona wartość odchylenia standardowego wyniosła 7,5 mgO₂·dm⁻³, a współczynnika zmienności tylko 0,31. Oznacza to, że w przeciwieństwie do dwóch wyżej omawianych wskaźników, wartości ChZT_{Cr} w ściekach oczyszczonych były w miarę stabilne (zmiennością małą).

Stężenia związków biogennych w odpływie z oczyszczalni w Myślenicach przedstawiały się następująco. Ścieki oczyszczone zawierały od 4,7 do 24,1 mgN_{og}·dm⁻³ azotu ogólnego, a jego stężenie średnie wynosiło 14,4 mgN_{og}·dm⁻³. Zatem, w analizowanym okresie czasu, stężenia maksymalne przekraczały stężenie graniczne ustalone w pozwoleniu wodno-prawnym na poziomie 15,0 mgN_{og}·dm⁻³. Jednakże trzeba zaznaczyć, że był to pojedynczy przypadek, mający miejsce w czasie rozruchu technologicznego, po zakończeniu modernizacji oczyszczalni. Średnie stężenie azotu ogólnego w odpływie z oczyszczalni wynosiło 96% wartości dopuszczalnej. Obliczona wartość odchylenia standardowego wyniosła 2,3 mgN_{og}·dm⁻³, a współczynnika zmienności 0,32. Ostatnia wartość wskazuje na niską zmienność stężeń omawianego wskaźnika w oczyszczonych ściekach. Z kolei stężenia fosforu ogólnego w ściekach odpływających do rzeki Raby przyjmowały wartości w przedziale 0,1 – 0,8 mgP_{og}·dm⁻³, a średnie stężenie wynosiło 0,4 mgP_{og}·dm⁻³. Każda badana próbka ścieków oczysz-

czonych, badana na zawartość fosforu ogólnego spełniała wymogi pozwolenia wodno-prawnego, w którym stężenie dopuszczalne ustalono na granicy równej $1 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Średnie stężenie fosforu ogólnego stanowiło zatem 40% wartości granicznej. Obliczona wartość odchylenia standardowego wyniosła $0,2 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, a współczynnika zmienności 0,64. Stężenia fosforu ogólnego w oczyszczonych ściekach cechowały się zatem średnią zmiennością.

Zasadniczym celem prowadzonej w pracy analizy jest, jak zaznaczono na wstępie, znalezienie odpowiedzi na pytanie: czy i na ile ścieki oczyszczone w oczyszczalni w Myślenicach miały wpływ na kształtowanie składu wody ich odbiornika, a tym samym i na jej jakości. Dokonano tego za pomocą testu U Mann'a-Whitney'a, którym sprawdzono statystyczną istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami stężeń dla każdego ze wskaźników zanieczyszczeń, oznaczanych w próbkach wody pobranych w punkcie pomiarowo-kontrolnym „Stróżna” i „Osieczany”. Pierwszy z nich jest położony powyżej punktu zrzutu ścieków do rzeki Raby, a drugi poniżej tego punktu. Zastosowanie testu U Mann'a-Whitney'a zostało podyktowane brakiem normalności rozkładu dla zbioru danych poszczególnych wskaźników, co potwierdziły wyniki testu Shapiro-Wilka. Wyniki analizy zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Statystyczna istotność różnic średnich stężeń wskaźników zanieczyszczeń rzeki Raby w przekrojach pomiarowo-kontrolnych Stróża i Osieczany w świetle wyników testu U Mann-Whitney'a

Table 4. The results of statistical significance of differences by Mann-Whitney U test of mean concentrations of indicators of pollution of the river Raba in cross-section Stróża and Osieczany

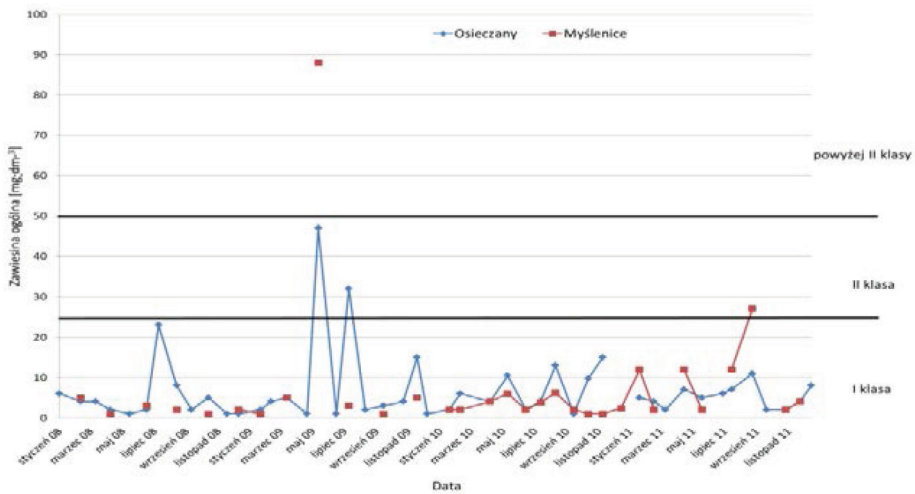
Wskaźnik $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	Stężenie średnie w przekroju $[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$		Różnica stężeń (SII – SI) $[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$	Prawdopodobieństwo testowe (p)
	Stróża (SI)	Osieczany (SII)		
Zawiesina ogólna	7,2	6,7	- 0,5	0,24
BZT ₅	1,5	1,9	0,4	0,96
ChZT _{Cr}	9,0	8,8	-0,2	0,12
Azot ogólny	2,3	2,2	-0,1	0,93
Fosfor ogólny	0,044	0,041	-0,003	0,45

źródło/source: opracowania własne/own elaboration

Analizując dane zawarte w tabeli 4 stwierdzono, że średnie wartości stężeń badanych wskaźników zanieczyszczeń w wodzie odbiornika w obu przekrojach były do siebie zbliżone, a ich różnice są nieznaczące. Zauważono

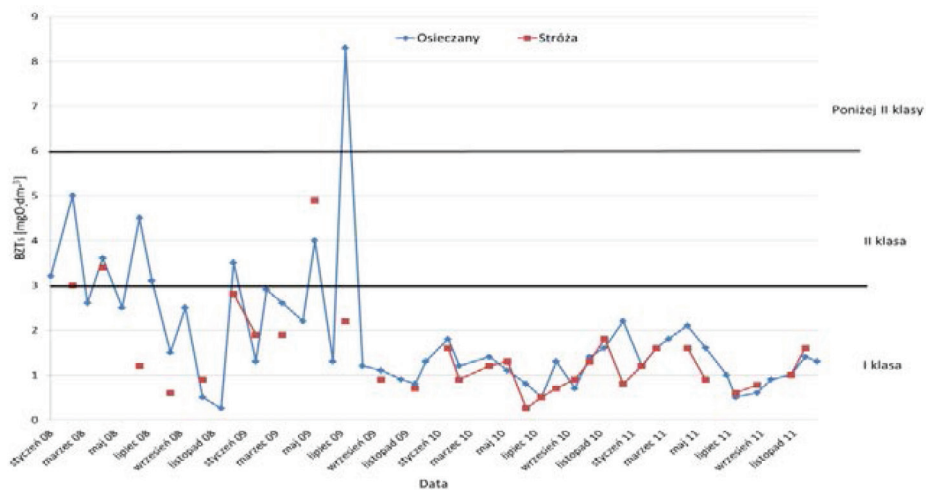
także, co ciekawe, że w przekroju Osieczany (przekrój poniżej zrzutu ścieków) były one, z wyjątkiem BZT₅, niższe niż w przekroju Stróża (przekrój powyżej zrzutu ścieków). Brak statystycznie istotnej różnicy pomiędzy tymi średnimi potwierdziły jednoznacznie wyniki testu U Mann'a-Whitney'a. Obliczone wartości prawdopodobieństwa testowego (p), znacząco przewyższają przyjęty poziom istotności $\alpha = 0,05$. Na tej podstawie można stwierdzić, że jakość wody na rozpatrywanym odcinku, to znaczy pomiędzy przekrojem Stróża, a przekrojem Osieczany, pomimo zrzutu ścieków z oczyszczalni w Myślenicach, nie ulega pogorszeniu, a wręcz poprawie. Wskazuje to, że zachodzący w Rabie proces samooczyszczenia jej wody nie ulega zakłóceniu przez dopływające do niej dobrze oczyszczone ścieki.

Uzupełnieniem przeprowadzonej analizy, dotyczącej wpływu oczyszczalni ścieków w Myślenicach na skład wód rzeki Raby jest analiza porównawcza odnosząca się do jakości wód odbiornika w obu punktach pomiarowo-kontrolnych. Oparto ją na wynikach oznaczeń poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń, których stężenia odniesiono do wymogów zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, w części dotyczącej wskaźników fizyczno-chemicznych (Rozporządzenie...2009). Wyniki tej klasyfikacji przedstawiono graficznie na rysunkach 3 – 7.



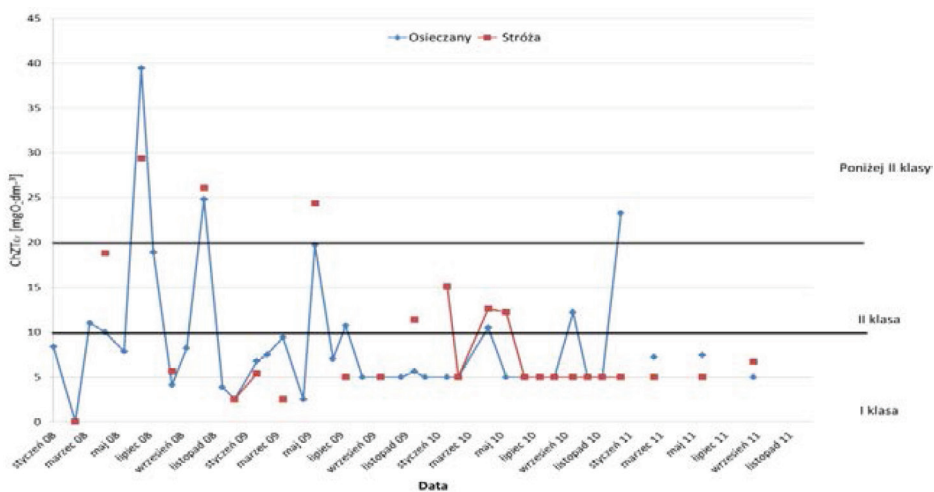
Rysunek 3. Stężenia zawiesiny ogólnej w wodzie rzeki Raby w przekrojach Stróża i Osieczany na tle klas czystości [źródło: opracowanie własne]

Figure 3. The concentrations of total suspended solids in the water of the river Raba in cross-section Stróża and Osieczany against the purity classes [source: own elaboration]



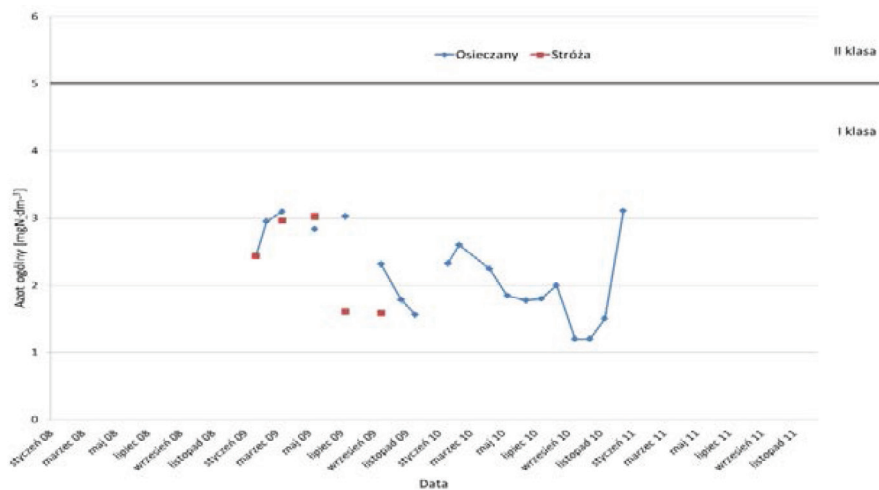
Rysunek 4. Wartości BZT₅ w wodzie rzeki Raby w przekrojach Stróża i Osieczany na tle klas czystości [źródło: opracowanie własne]

Figure 4. Values of BOD₅ solids in the water of the river Raba in cross-section Stróża and Osieczany against the purity classes [source: own elaboration]



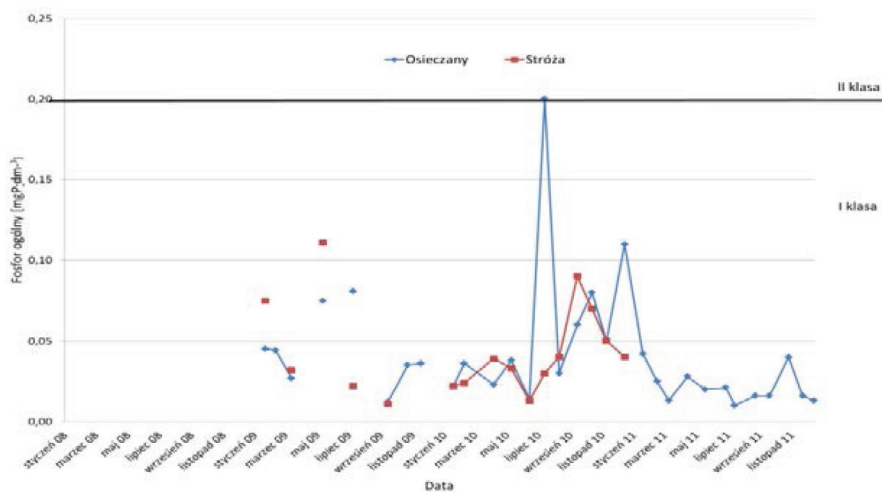
Rysunek 5. Wartości ChZTC_r w wodzie rzeki Raby w przekrojach Stróża i Osieczany na tle klas czystości [źródło: opracowanie własne]

Figure 5. Values of COD_{Cr} solids in the water of the river Raba in cross-section Stróża and Osieczany against the purity classes [source: own elaboration]



Rysunek 6. Stężenia azotu ogólnego w wodzie rzeki Raby w przekrojach Stróża i Osieczany na tle klas czystości [źródło: opracowanie własne]

Figure 6. The concentrations of total nitrogen solids in the water of the river Raba in cross-section Stróża and Osieczany against the purity classes [source: own elaboration]



Rysunek 7. Stężenia fosforu ogólnego w wodzie rzeki Raby w przekrojach Stróża i Osieczany na tle klas czystości [źródło: opracowanie własne]

Figure 7. The concentrations of total phosphorus solids in the water of the river Raba in cross-section Stróża and Osieczany against the purity classes [source: own elaboration]

Jak wynika z rysunku 3, na 31 oznaczeń stężenia zawiesiny ogólnej w próbkach wody pobranych w przekroju Stróża, 29 z nich (94 %) mieściło się poniżej granicy $25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ co pozwalało zakwalifikować je do wód bardzo dobrej jakości (I klasa), 1 próbka odpowiadała wodzie o dobrej jakości (stężenie nie przekraczało $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), czyli granicznej wartości dla klasy II, natomiast w 1 próbce stwierdzono jakość poniżej dobrej. W tym samym okresie czasu w przekroju Osieczany zostało przebadanych 46 próbek pobranych z rzeki Raby. W tej ilości wyniki 44 oznaczeń (96 %) pozwoliły zakwalifikować wodę rzeki do wód o najwyższej klasie jakości (I), a pozostałe 2 (4 %) do klasy II. W tym przekroju nie stwierdzono wód o jakości poniżej dobrej.

Wartości BZT_5 (rysunek 4) zostały oznaczone w przekroju Stróża 31-krotnie, czyli podobnie jak stężenia zawiesiny ogólnej. W tej liczbie, w 29 próbkach (94 %) wartość BZT_5 utrzymywało się poniżej $3 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, co pozwalało zakwalifikować wodę odbiornika do najwyższej, I klasy jakości. W pozostałych 2 próbkach (6 %) wartości BZT_5 nie przekraczało granicy $6 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, co pozwoliło zaliczyć tą wodę do II klasy jakości. W przekroju Osieczany na zawartość związków organicznych (BZT_5) przebadano w sumie w 47 próbach wody. Stwierdzono, że w 39 (83 %) z nich, wartości BZT_5 odpowiadały wodzie o bardzo dobrej jakości, (I klasa), a 7 (15%) odpowiadało wodzie o dobrej jakości (II klasa), a w 1 (2 %) wodzie poniżej dobrej jakości.

Wartości ChZT_{Cr} (rysunek 5) zostały oznaczone w próbach wody pobieranych w przekroju Stróża 26 – krotnie. Wartość graniczna $10 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, warunkująca zaliczenie do wody o bardzo dobrej jakości, (I klasy) nie została przekroczona w 18 próbkach (69 %). Wartości w granicach klasy II, poniżej $20 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, odnotowano w 5 próbkach (19%), a w 3 pozostałych próbkach (12%) odnotowano wody poza klasowe. W przekroju Osieczany wartości ChZT_{Cr} oznaczono w sumie w 38 próbach wody, z czego w 29 (76 %) odpowiadały one I klasie jakości, w 6 (16%) klasie II, a w 3 (8%) stwierdzono wartości poza klasowe.

Badania prób wody, na zawartość azotu ogólnego (rysunek 6), pobranych z rzeki Raby w przekroju Stróża, w analizowanym wieloleciu 2008-2011 odbywały się sporadycznie. W sumie takie badanie wykonano tylko 5-krotnie. Więcej razy (19-krotnie) oznaczono azot ogólny w próbkach wody Raby pobranych w tym samym czasie, w przekroju Osieczany. Stwierdzono, że stężenia tego biogenu odpowiadały każdorazowo, niezależnie od czasu i miejsca pobrania próbki, wodzie o bardzo dobrej jakości (I klasa), co oznacza, że utrzymywały się one na poziomie poniżej $5 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ określonym dla najwyższej I klasy jakości. Z kolei stężenie fosforu ogólnego (rysunek 7) w próbkach wody pobranych z Raby w przekroju Stróża oznaczono 16 razy. Stwierdzono, że każdorazowo nie przekroczyło ono wartości granicznej $0,2 \text{ mg P}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, odpowiadającej wodzie o bardzo dobrej jakości (klasa I). Zdecydowanie częściej kontrolowany był poziom fosforu ogólnego w wodzie rzeki Raby, w przekroju Osieczany. Jego

stężenie oznaczono bowiem aż w 31 próbkach i w każdej z nich stwierdzono I klasę jakości.

WNIOSKI

Zebrany, opracowany i poddany analizie materiał empiryczny dotyczący relacji oczyszczalnia ścieków – odbiornik, pozwala na sformułowanie następujących wnioskami:

1. Odpływające z oczyszczalni w Myślenicach do odbiornika (rzeki Raby) oczyszczone ścieki pod względem swej ilości, ale przede wszystkim swego składu fizyko-chemicznego w wieloletnim okresie 2008 – 2011 spełniały warunki określone w pozwoleniu wodno-prawnym. Wskazuje to na skuteczność przyjętych i zrealizowanych rozwiązań, na etapie modernizacji obiektu.
2. Potwierdzeniem wysokiej sprawności myślenickiej oczyszczalni, przekładającej się na efektywną ochronę wód ich odbiornika, mogą być średnie stężenia kontrolowanych na odpływie wskaźników zanieczyszczeń. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej w oczyszczonych ściekach wynosiło około 11% wartości granicznej ustalonej w pozwoleniu wodno-prawnym, dla BZT₅ – 45%, ChZT_{Cr} – 37%, azotu ogólnego – 96%, a fosforu ogólnego – 40%.
3. Skład fizyko-chemiczny wód rzeki Raby w obu przekrojach pomiarowo-kontrolnych, to jest Stróża i Osieczany, był do siebie zbliżony. Różnice pomiędzy średnimi stężeniami oznaczanych wskaźników w świetle zastosowanego testu U Mann'a-Whitney'a okazały się statystycznie nieistotne na poziomie $\alpha = 0,05$.
4. Jakość wód rzeki Raby była ze względu na parametry fizyko-chemiczne w obu przekrojach również do siebie zbliżona i nie wskazuje na negatywne oddziaływanie na nią ścieków oczyszczanych w oczyszczalni w Myślenicach. W zdecydowanej większości przypadków zarówno w przekroju Stróża, jak i Osieczany wody rzeki Raby kwalifikowały się do wód o bardzo dobrej lub co najmniej o dobrej jakości.
5. W świetle przytoczonych wyników badań można stwierdzić, że zmodernizowana oczyszczalnia ścieków w Myślenicach nie powoduje pogorszenia się jakości wód w rzece Rabe. Zwłaszcza w istotnym stopniu został ograniczony, w porównaniu do lat sprzed modernizacji, dopływ do odbiornika związków biogenych wraz oczyszczonymi ściekami. Pozwala to mieć nadzieję na zahamowanie procesu eutrofizacji wód magazynowanych w zbiorniku dobczyckim.

LITERATURA

Balcerzak W., Wisz A. (1991). *Zagrożenie eutrofizacją wód zbiornika zaporowego Dobczyce*. Ochrona Środowiska nr 1, 27-29.

Banaś J., Styka W. (2006). *Gospodarka ściekowa w zlewni rzeki Raby i zbiornika dobczyckiego*. [w:] Studium możliwości zmiany funkcji zbiornika dobczyckiego i jego zlewni uwzględnieniem ochrony czystości wód w zbiorniku. 2-11.

Bank danych lokalnych (2011). www.stat.gov.pl

Bombówna M. 1969. *Hydrochemiczna charakterystyka rzeki Raby i jej dopływów*. Acta Hydrobiologica, nr 14, 479-504.

Dz. U. 2009 nr 122 poz. 1018 Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego jednolitych części wód powierzchniowych.

Kopacz M., Drzewicki W., Twardy S. (2011). *Badania nad zawartością zawiesiny ogólnej w wodach powierzchniowych zlewni Raby zasilających zbiornik dobczycki*. Nauka Przyroda Technologie, nr 4, 2-9

Kurek S., Pawlik-Dobrowolski J., Twardy S. (1993). *Ocena zagrożeń jakości wód zbiornik retencyjnego w Dobczycach ze strony rolnictwa oraz sposoby ich ograniczania*. [w:] Zlewnia Raby jako obszar alimentacji wód i zanieczyszczeń dla zbiornika retencyjnego w Dobczycach. 253-271.

Mason, Simon J.; Graham, Nicholas E. (2002). *Areas beneath the relative operating characteristics (ROC) and relative operating levels (ROL) curves: Statistical significance and interpretation*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, nr 128, 2145–2166.

Miernik W., Cupak A., Wałęga A. (2011). *Ilość związków biogennych wnoszonych z wodami rzeki Raby do zbiornika dobczyckiego w latach 2005 – 2009*. Gaz, woda i technika sanitarna, nr 10, 384-386.

Pozwolenie wodno-prawne udzielone Miejskiemu Zakładowi Wodociągów i Kanalizacji w Myślenicach, przez Starostę myślenickiego na wprowadzanie oczyszczonych ścieków z oczyszczalni ścieków w Myślenicach do rzeki Raby

Shapiro S. S., Wilk M. B. (1965). *An analysis of variance test for normality (complete samples)*. Biometrika, nr 3/4, 591-611

dr inż. Włodzimierz Miernik
mgr inż. Dariusz Młyński
dr hab. inż. Andrzej Wałęga
dr hab. inż. Krzysztof Chmielowski
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. Mickiewicza 24/28, 31-109 Kraków
tel.: (12) 662 4127; (12) 662 4123; (12) 662 4029 (12) 662 4187;
e-mail: w.miernik@ur.krakow.pl dariusz.mlynski@gmail.com;
a.walega@ur.krakow.pl
k.chmielowski@ur.krakow.pl

Wpłynęło: 11.02.2016

Akceptowano do druku: 9.03.2016