INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr IV/1/2015, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 949–964
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

DOI: http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2015.4.1.076

OCENA DZIAŁANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W HACZOWIE PRZED I PO MODERNIZACJI

Krzysztof Chmielowski, Piotr Bugajski, Ewa Wąsik
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

ASSESSMENT OF THE OPERATION OF A SEWAGE TREATMENT PLANT IN HACZÓW BEFORE AND AFTER MODERNIZATION

Streszczenie

W artykule przedstawiono ocenę działania oczyszczalni ścieków w Haczowie przed i po modernizacji. Analizę wyników przeprowadzono w oparciu o dane z okresu od stycznia 2011roku do marca 2015 roku. W pracy przedstawiono opis ciągu technologicznego badanego obiektu, dokonano jakościowej oceny ścieków oczyszczonych w oparciu o trzy podstawowe wskaźniki zanieczyszczenia ścieków: BZT_5, $ChZT_{Cr}$ oraz zawiesinę ogólną. Ponadto dokonano analizy ilości dopływających ścieków do oczyszczalni na przełomie czterech lat następujących kolejno po sobie. Ocenę działania oczyszczalni dokonano dla dwóch okresów jej pracy: przed i po modernizacji. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono wyraźną poprawę jakości ścieków oczyszczonych po modernizacji oczyszczalni. Średnia wartość wskaźnika BZT_5 ścieków oczyszczonych po modernizacji wyniosła 8,4 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ i była ponad siedmiokrotnie niższa niż dla okresu przed modernizacją oczyszczalni. Podobna sytuacja wystąpiła w przypadku $ChZT_{Cr}$ gdzie średnia jego wartość dla ścieków oczyszczonych w okresie po modernizacji wyniosła 61,7 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ a przed modernizacją było to 227,9 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Zaobserwowano również znacznie mniejszą wartość średniego stężenia zawiesiny ogólniej w ściekach oczyszczonych po modernizacji (18,7 $mg \cdot dm^{-3}$) niż przed modernizacją (62,9 $mg \cdot dm^{-3}$). Przeprowadzone analizy zebranego materiału świadczą pozy-

tywnie o przeprowadzonej modernizacji oczyszczalni, co doprowadziło do znaczącego poprawienia jakości ścieków odprowadzanych do odbiornika.

Słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia ścieków, skuteczność oczyszczania.

Summary

The paper presents the assessment of the operation of a sewage treatment plant in Haczów before and after its modernization. The analysis of results was conducted based on data data for the period from January 2011 to March 2015. The paper describes the process line of the studied object and the qualitative assessment of treated sewage based on three basic sewage contamination indicators: BOD_5, COD_{Cr} and total suspended solids. Moreover, the amount of sewage flowing into the treatment plant over the period of four consecutive years was analyzed. The operation of the sewage treatment plant was assessed for two periods, i.e. before and after its modernization. The conducted analysis showed a significant improvement in the quality of treated sewage after the modernization of the treatment plant. After the modernization, the mean value of the BOD_5 indicator in the treated sewage was 8,4 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ and was more than seven times lower than in the period prior to modernization. Similar situation was observed for COD_{Cr} as its mean value for treated sewage after the modernization was 61,7 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ while before the modernization it was 227,9 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. A significantly lower value of the mean total suspended solids concentration was also observed in treated sewage after (18,7 $mg \cdot dm^{-3}$) than before the modernization (62,9 $mg \cdot dm^{-3}$). The analyses of the collected data evidence much positive effect of the conducted modernization of the studied treatment plant, which resulted in a significant improvement of the quality of sewage discharged into the receiver.

Key words: *wastewater, sewage treatment plant, effectiveness of treatment*

WSTĘP

Nieoczyszczone ścieki stanowią poważny problem i należy je poddać oczyszczeniu przed wprowadzeniem do odbiornika. W Polsce po przystąpieniu do Unii Europejskiej wzrosły nakłady na inwestycje związane z budową sieci kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków. Został w prowadzony Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (2003) w ramach, którego wydzielone zostały aglomeracje powyżej 2000 RLM. W ostatnich latach nastąpiło

kilka aktualizacji tego programu. Poza tym programem obowiązuje Program dla aglomeracji poniżej 2000 RLM oraz program oczyszczania ścieków przemysłowych. Badany obiekt oczyszcza ścieki bytowe z aglomeracji powyżej 2000 RLM. Ponadto w ostatnim czasie opublikowane zostało i weszło w życie Rozporządzenie (2014) w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dotychczas obowiązywało rozporządzenie z 2006 roku z modyfikacją z 2009 roku. Obserwuje się coraz więcej przypadków modernizacji istniejących oczyszczalni ścieków. Powodem tego stanu są starzejące się obiekty i technologie, które nie spełniają obecnych wymogów prawnych. Jednym z takich przypadków jest oczyszczalnia w Haczowie w województwie podkarpackim.

METODYKA BADAŃ

W artykule dokonano analizy jakości ścieków oczyszczonych przed i po modernizacją oczyszczalni. Badaniami objęto okres od stycznia 2011 roku do marca 2015 roku. Analizy fizykochemicznych wykonano w laboratorium SGS ”EKO-PROJEKT”. Analizę wyników badań dokonano w oparciu o trzy podstawowe wskaźniki zanieczyszczenia ścieków: BZT_5, $ChZT_{Cr}$ oraz zawiesinę ogólną. Określono podstawowe statystyki opisowe badanych wskaźników: wartość średnia, maksymalna, minimalna, współczynnik zmienności odchylenie standardowe. Przedstawiono liczbę przekroczeń wartości poszczególnych wskaźników w odniesieniu do wartości dopuszczalnej określonej w pozwoleniu wodno-prawnym (2003 i 2013).

Określono skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń przed i po modernizacji oczyszczalni. Skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń określono z następującego wzoru:

$$\eta = \frac{S_s - S_o}{S_s} \cdot 100[\%]$$

Gdzie:

η – skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń [%],

S_s – wartość wskaźnika w ściekach surowych [$mg \cdot dm^{-3}$],

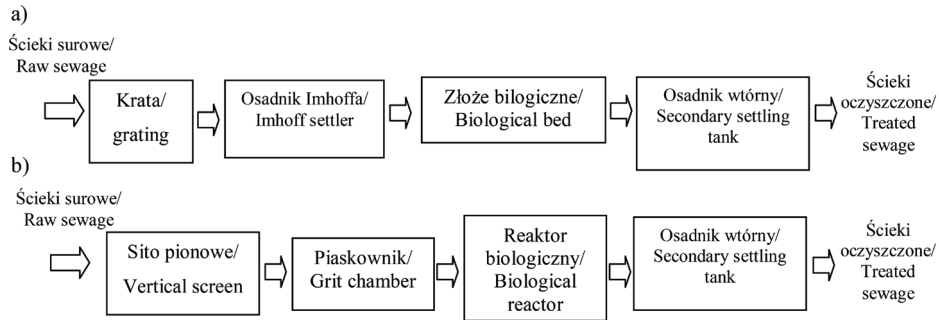
S_s – wartość wskaźnika w ściekach oczyszczonych [$mg \cdot dm^{-3}$].

Wyniki badań zestawiono w tabelach oraz na rycinach w celu ich przejrzystego zaprezentowania.

Wyniki badań przedstawiono tabelarycznie i za pomocą wykresów. Dodatkowo określono ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w poszczególnych miesiącach badanego okresu. Przedstawiono wartości ilorazu $ChZT_{Cr}$ do BZT_5.

OPIS OBIEKTU BADAŃ

Badany obiekt położony jest w miejscowości Haczów w powiecie brzozowskim w województwie podkarpackim. Oczyszczalnia została wybudowana w 1996 roku a zmodernizowana w 2013. Do oczyszczalni dopływają ścieki bytowe z następujących miejscowości: Haczów, Malinówka, Jabłonica Polska oraz Iskrzynia. Łączna długości sieci kanalizacyjnej wynosi 70,4 km. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest rzeka Morwawa, która stanowi lewobrzeżny dopływ do rzeki Wisłok a ta wpływa do Sanu. Według pozwolenia wodno-prawnego (2013) średni dobowy przepływ ścieków wynosi 930 $m^3 \cdot d^{-1}$. Według pozwolenia (2003) wcześniej obowiązującego średni dobowy przepływ ścieków wynosił 903 $m^3 \cdot d^{-1}$.



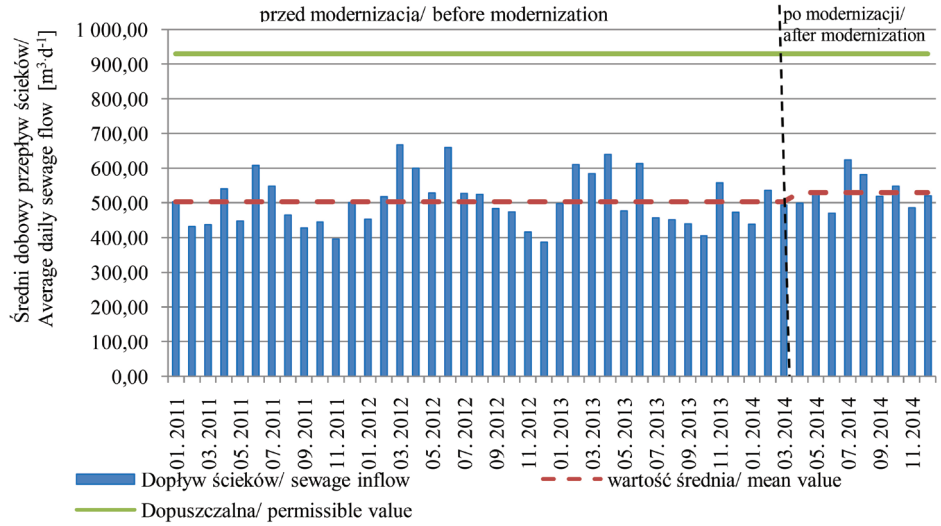
Rysunek 1. Uproszczony schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Haczowie: a) przed modernizacją, b) po modernizacji

Figure 1. A simplified process line of the sewage treatment plant in Haczów: a) prior to the modernization, b) after the modernization

Najistotniejsza zmiana w procesie biologicznego oczyszczania polegała na zastąpieniu złóż zraszanych reaktorami biologicznymi działającymi na bazie osadu czynnego. Ponadto zastąpiono kratę sitem pionowym.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W tej części przedstawiono analizę wyników badań przed i po modernizacji oczyszczalni. W pierwszej kolejności przedstawiono zestawienie średnich dobowych przepływów ścieków w poszczególnych miesiącach badanego okresu do oczyszczalni w Haczowie.



Rysunek 2. Zestawienie średnich dobowych przepływów ścieków w poszczególnych miesiącach badanego okresu

Figure 2. A comparison of average daily sewage flow in each month of the studied period

Na podstawie danych zawartych na rycinie 1 można zauważyć, że obciążenie hydrauliczne badanego obiektu było poniżej wartości projektowanej przedstawionej w pozwoleniach wodno-prawnych (2003 i 2013). Średnia wartość obciążenia hydraulicznego przed modernizacją wyniosła 504,3 $m^3 \cdot d^{-1}$ a po modernizacji wzrosła do 530,9 $m^3 \cdot d^{-1}$. Największe zaobserwowane obciążenie hydrauliczne oczyszczalni w Haczowie odnotowano w marcu 2012 roku (667,0 $m^3 \cdot d^{-1}$), natomiast najniższe wystąpiło w grudniu 2012 roku (387,0 $m^3 \cdot d^{-1}$). Niedociążenia hydrauliczne oczyszczalni są zjawiskiem często występującym o czym świadczą prace innych autorów (Bugajski 2009, Bugajski i Ślizowski 2006).

W dalszej części artykułu (tabela 1) przedstawiono podstawowe statystyki opisowe BZT_5 ścieków surowych dopływających do oczyszczalni oraz ścieków oczyszczonych. Dane zestawiono odpowiednio dla okresu przed modernizacją oczyszczalni i po jej modernizacji.

Analizując dane zestawione w tabeli 1 można stwierdzić w całym okresie badawczym duże zróżnicowanie wartości BZT_5 w ściekach surowych. Podobne wyniki przedstawiają inni autorzy (Krzanowski S., Wałęga A. 2004, Sikorski M. 1989, Sikorski M. 1994a, Sikorski 1994b). Tak duża zmienność wskaźników zanieczyszczeń może wynikać przede wszystkim z ilości wody zużywanej na

1 mieszkańca, ładunku zanieczyszczeń, czasu przetrzymania ścieków oraz warunków klimatycznych (Bernacka J. 1984, Heidrich Z., Witkowski A. 1993). Na jakość ścieków dopływających do oczyszczalni ma wpływ szereg czynników między innymi ilość opadów i wody infiltracyjne (Kaczor G. 2012., Kaczor G. i in. 2013). Będą się one przyczyniały do rozcieńczania ścieków, a co za tym idzie do zmniejszania wartości wskaźników w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni. Z kolei wprowadzanie ścieków z taboru asenizacyjnego może przyczynić się do podniesienia wartości wskaźników zanieczyszczenia ścieków. Średnia wartość BZT_5 ścieków surowych dopływających do oczyszczalni przed jej modernizacją wyniosła 413,6 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ a po modernizacji była nieco mniejsza i wyniosła 377,3 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Wartość maksymalna BZT_5 ścieków surowych przed modernizacją wyniosła 714,0 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ a po modernizacji 611,0 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Zasadniczo modernizacja nie ma wpływu na jakość ścieków dopływających do oczyszczalni. Jedynie ilość ścieków dowożonych może wpływać na wartości wskaźników zanieczyszczenia ścieków. O zróżnicowaniu wartości BZT_5 w ściekach surowych może świadczyć współczynniki zmienności, który wyniósł odpowiednio dla okresu przed modernizacją 0,40 a dla okresu po modernizacji 0,33. Średnia wartość BZT_5 ścieków oczyszczonych wyniosła 73,3 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, podczas gdy maksymalną wartość zaobserwowano na poziomie aż 338,0 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Świadczy to o niestabilnej pracy oczyszczalni przed modernizacją. Głównym elementem oczyszczalni przed modernizacją było złoże biologiczne które nie było w stanie zapewnić odpowiedniego zmniejszenia podstawowego wskaźnika zanieczyszczenia ścieków jakim jest BZT_5. Dużo lepszą sytuację zaobserwowano po modernizacji oczyszczalni ścieków gdzie głównym urządzeniem był reaktor biologiczny pracujący na bazie osadu czynnego. Średnia wartość BZT_5 dla okresu po modernizacji oczyszczalni wyniosła 8,4 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ i była ponad ośmiokrotnie niższa niż przed modernizacją. Co prawda stwierdzono jedno przekroczenie wartości dopuszczalnej ale było to w okresie wpracowania się reaktora biologicznego. Należy prowadzić dalsze badania w celu uzyskania większej ilości wartości wskaźników w okresie po modernizacji. Dla porównania, według Kaczora i Bugajskiego (2007) w oczyszczalni w technologii niskoobciążonego osadu czynnego wartości BZT_5 na odpływie uzyskano na poziomie 9,55 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, $ChZT_{Cr}$ 50,13 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ a zawiesina ogólna 17,75 $mg \cdot dm^{-3}$. Jeszcze bardziej zróżnicowane wartości BZT_5 zaobserwowano dla okresu przed modernizacją oczyszczalni gdzie współczynnik zmienności wyniósł 0,84 i był ponad dwukrotnie wyższy niż w przypadku ścieków surowych dla tego okresu.

W dalszej kolejności na rycinie 3 przedstawiono wartości BZT_5 ścieków surowych i oczyszczonych na tle skuteczności jego zmniejszenia przed i po modernizacji oczyszczalni.

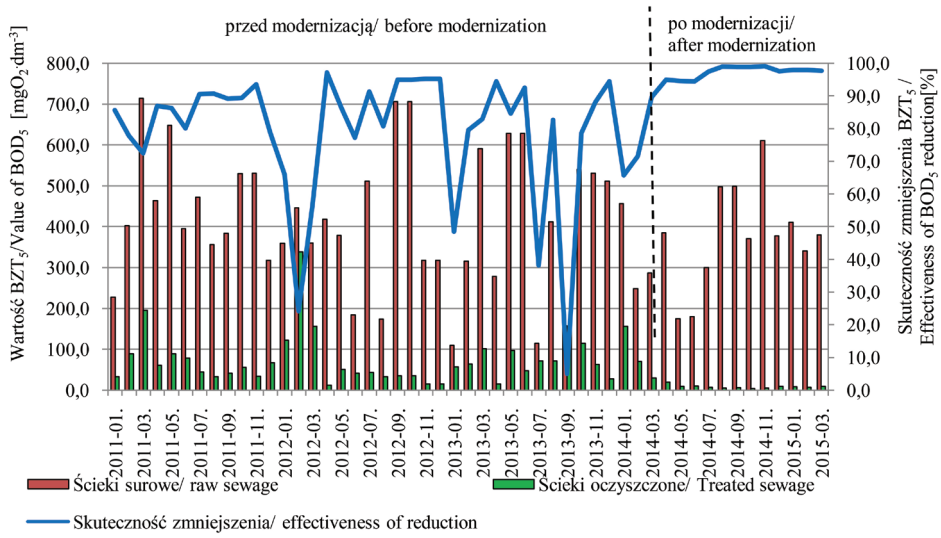
Tabela 1. Zestawienie podstawowych statystyk opisowych BZT_5 ścieków surowych i oczyszczonych przed i po modernizacji w oczyszczalni w Haczowie
Table 1. A summary of basic descriptive statistics for BOD_5 of raw and treated sewage before and after the modernization of the treatment plant in Haczów

Statystyka opisowa/ Descriptive statistics	Symbol/ Symbol	Jednostka/ Unit	Wartości BZT_5/ Values of BOD_5			
			Przed modernizacją/ Before the modernization		Po modernizacji/ After the modernization	
			A	B	A	B
Liczba próbek/ No. of samples	N	szt./pcs.	39	39	12	12
Wartość średnia/ Mean value	$\overline{X}$	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	413,6	73,3	377,3	8,4
Wartość maksymalna/ Maximum value	Max	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	714,0	338,0	611,0	19,6
Wartość minimalna/ Minimum value	Min	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	110,0	12,3	175,0	4,5
Odchylenie standardowe/ Standard deviation	σ	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	164,4	61,4	125,2	4,0
Współczynnik zmienności/ Coefficient of variability	V_{zm}	-	0,40	0,84	0,33	0,47
Wartość dopuszczalna/ Permissible value	X_{dop}	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	-	25	-	15
Liczba przekroczeń/ No. of transgressions	N_{prz}	szt./pcs.	-	35	-	1

A – Ścieki surowe/ Raw sewage, B – Ścieki oczyszczone/ Treated sewage

Poddając analizie dane przedstawione na rycinie 3 i w tabeli 4 można zauważyć poprawę skuteczność zmniejszenia BZT_5 po modernizacji oczyszczalni. Od marca 2014 roku obserwuje się sukcesywny wzrost skuteczności zmniejszenia BZT_5. Przed modernizacją średnia skuteczność zmniejszenia BZT_5 wyniosła 78,9% podczas gdy w okresie po modernizacji ukształtowała się na poziomie 97,3%. Przed modernizacją oczyszczalni można było zauważyć znaczne wahania skuteczności zmniejszenia BZT_5. Minimalna skuteczność zmniejszenia BZT_5 przed modernizacją wyniosła zaledwie 5,1% a maksymalna wyniosła 97,1%. Z kolei po modernizacji mimo niewielkiej liczby danych (12 szt.) zaobserwowano skuteczność od 94,4 do 99,1%. Świadczy to o poprawnej pracy oczyszczalni.

Jako drugi wskaźnik zanieczyszczenia ścieków przedstawiono $ChZT_{Cr}$. Dane zestawiono w tabeli 2 gdzie przedstawiono podstawowe statystyki opisowe $ChZT_{Cr}$ ścieków surowych i oczyszczonych przed i po modernizacji w oczyszczalni w Haczowie.



Rysunek 3. Zestawienie wartości BZT_5 ścieków surowych i oczyszczonych na tle skuteczności jego zmniejszenia przed i po modernizacji
Figure 3. A comparison of BOD_5 values for raw and treated sewage on the background of its reduction effectiveness before and after the modernization

Biorąc pod uwagę dane przedstawione w tabeli 2 należy stwierdzić duże zróżnicowanie wartości $ChZT_{Cr}$ w ściekach surowych w całym okresie badawczym. Średnia wartość $ChZT_{Cr}$ ścieków surowych dopływających do oczyszczalni przed jej modernizacją wyniosła 847,4 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ a po modernizacji była nieco wyższa i wyniosła 853,8 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Wartość maksymalna $ChZT_{Cr}$ zarówno ścieków surowych przed modernizacją i po modernizacji wyniosła 1432,0 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Współczynnik zmienności dla $ChZT_{Cr}$ ścieków surowych miał zbliżoną wartość przed i po modernizacji oczyszczalni. Wyniósł odpowiednio dla okresu przed modernizacją 0,34 a dla okresu po modernizacji 0,29. Dla okresu przed modernizacją średnia wartość $ChZT_{Cr}$ ścieków oczyszczonych wyniosła 227,9 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ podczas gdy maksymalną wartość zaobserwowano na poziomie aż 619,0 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Potwierdza to (podobnie jak w przypadku BZT_5) niestabilną pracę oczyszczalni przed modernizacją. Powodem tego stanu było zastosowanie złoża biologicznego, które nie było w stanie zapewnić odpowiedniego zmniejszenia podstawowego wskaźnika zanieczyszczenia ścieków jakim jest $ChZT_{Cr}$. Znacznie niższe wartości $ChZT_{Cr}$ zaobserwowano w okresie po modernizacji oczyszczalni ścieków gdzie głównym urządzeniem był reaktor biologiczny

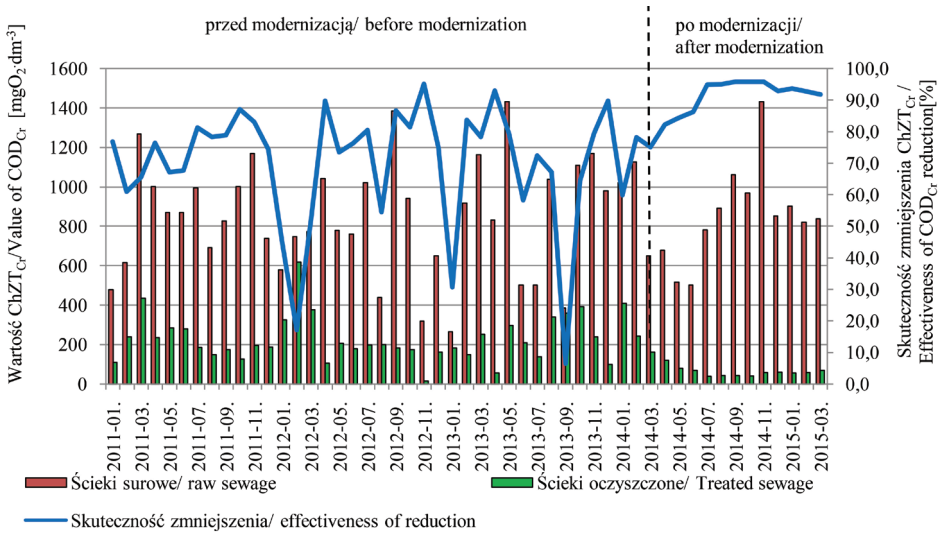
pracujący na bazie osadu czynnego. Średnia wartość $ChZT_{Cr}$ dla okresu po modernizacji oczyszczalni wyniosła 61,7 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$ i była ponad 3,5 krotnie niższa niż przed modernizacją. Wartość maksymalna $ChZT_{Cr}$ w okresie po modernizacji była na niższym poziomie niż dopuszczalna wartość i wyniosła 120 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. W celu utwierdzenia się w dotychczasowych stwierdzeniach należy prowadzić dalsze badania w celu uzyskania większej ilości wartości wskaźników w okresie po modernizacji.

Tabela 2. Zestawienie podstawowych statystyk opisowych $ChZT_{Cr}$ ścieków surowych i oczyszczonych przed i po modernizacji w oczyszczalni w Haczowie
Table 2. A summary of basic descriptive statistics for COD_5 of raw and treated sewage before and after the modernization of the treatment plant in Haczów

Statystyka opisowa/ Descriptive statistics	Symbol/ Symbol	Jednostka/ Unit	Wartości $ChZT_{Cr}$/ Values of COD_{Cr}			
			Przed modernizacją/ Before the modernization		Po modernizacji/ After the modernization	
			A	B	A	B
Liczba próbek/ No. of samples	N	szt./pcs.	39	39	12	12
Wartość średnia/ Mean value	$\overline{X}$	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	847,4	227,9	853,8	61,7
Wartość maksymalna/ Maximum value	Max	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	1432,0	619,0	1432,0	120,0
Wartość minimalna/ Minimum value	Min	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	264,0	15,4	502,0	39,0
Odchylenie standardowe/ Standard deviation	σ	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	287,4	115,7	246,5	22,3
Współczynnik zmienności/ Coefficient of variability	V_{zm}	-	0,34	0,51	0,29	0,36
Wartość dopuszczalna/ Permissible value	X_{dop}	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$	-	125	-	125
Liczba przekroczeń/ No. of transgressions	N_{prz}	szt./pcs.	-	34	-	brak

A – Ścieki surowe/ Raw sewage, B – Ścieki oczyszczone/ Treated sewage

Na rycinie 4 przedstawiono graficzne zestawienie wartości $ChZT_{Cr}$ ścieków surowych i oczyszczonych na tle skuteczności jego zmniejszenia przed i po modernizacji oczyszczalni w Haczowie.



Rysunek 4. Zestawienie wartości ChZT$_{Cr}$ ścieków surowych i oczyszczonych na tle skuteczności jego zmniejszenia przed i po modernizacji

Figure 4. A comparison of COD$_{Cr}$ values for raw and treated sewage on the background of its reduction effectiveness before and after the modernization

Interpretując dane przedstawione na rycinie 4 i w tabeli 4 można zauważyć poprawę skuteczność zmniejszenia ChZT$_{Cr}$ po modernizacji oczyszczalni. Od marca 2014 roku obserwuje się wzrost skuteczności zmniejszenia ChZT$_{Cr}$. Przed modernizacją średnia skuteczność zmniejszenia ChZT$_{Cr}$ wyniosła 70,3% a w okresie po modernizacji ukształtowała się na poziomie 91,9%. Przed modernizacją oczyszczalni można było zauważyć znaczne wahania skuteczności zmniejszenia ChZT$_{Cr}$. Minimalna skuteczność zmniejszenia ChZT$_{Cr}$ przed modernizacją wyniosła jedynie 6,5% a maksymalna 95,2%. Natomiast po modernizacji zaobserwowano skuteczność od 82,3% do 95,9%.

Jako ostatni wskaźnik zanieczyszczenia ścieków analizowano zawiesinę ogólną. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe statystyki opisowe zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych przed i po modernizacji w oczyszczalni w Haczowie.

Z przedstawionych w tabeli 2 wartości wynika bardzo duże zróżnicowanie stężeń zawiesiny ogólnej w ściekach surowych w całym okresie badawczym. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni przed jej modernizacją wyniosło 352,4 mg·dm^{-3} a po modernizacji było nieznacznie mniejsze i wyniosło 388,4 mg·dm^{-3}. Maksymalne stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych przed modernizacją wyniosło 1302,0

$mg \cdot dm^{-3}$ a po modernizacji 604,0 $mg \cdot dm^{-3}$. Tak duże zróżnicowanie stężenia zawiesiny ogólnej wynikło z wprowadzenia do oczyszczalni ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym, które charakteryzują się wysokimi wartościami tego wskaźnika. Dla okresu przed modernizacją oczyszczalni współczynniki zmienności stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach surowych był wysoki i wyniósł 0,57. Natomiast w przypadku okresu po modernizacji współczynnik ten był znacznie mniejszy i wyniósł 0,24.

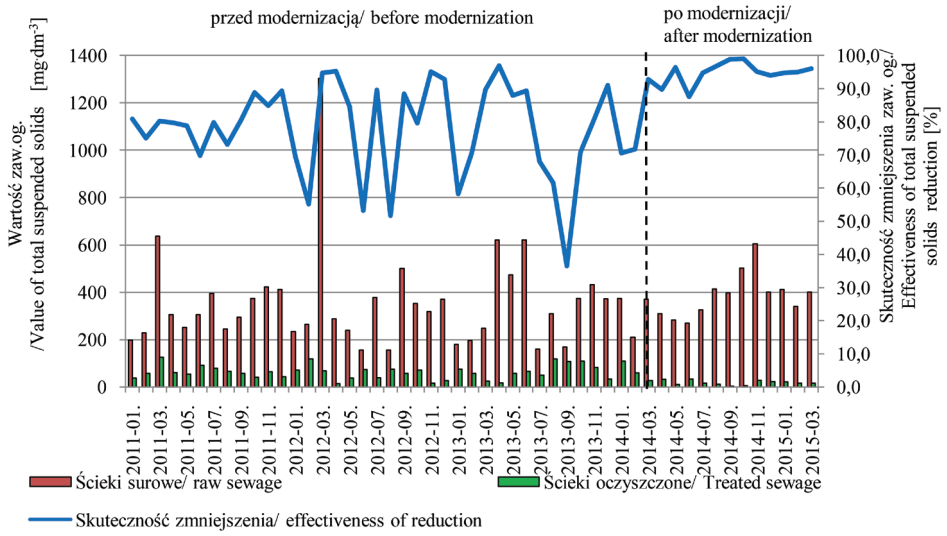
Tabela 3. Zestawienie podstawowych statystyk opisowych zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych przed i po modernizacji w oczyszczalni w Haczowie
Table 3. A summary of basic descriptive statistics for COD_5 of raw and treated sewage before and after the modernization of the treatment plant in Haczów

Statystyka opisowa/ Descriptive statistics	Symbol/ Symbol	Jednostka/ Unit	Stężenie zawiesiny ogólnej/ Values of total suspended solids			
			Przed modernizacją/ Before the modernization		Po modernizacji/ After the modernization	
			A	B	A	B
Liczba próbek/ No. of samples	N	szt./pcs.	39	39	12	12
Wartość średnia/ Mean value	$\overline{X}$	$mg \cdot dm^{-3}$	352,4	62,9	388,4	18,7
Wartość maksymalna/ Maximum value	Max	$mg \cdot dm^{-3}$	1302,0	126,0	604,0	33,6
Wartość minimalna/ Minimum value	Min	$mg \cdot dm^{-3}$	156,0	13,6	270,0	4,2
Odchylenie standardowe/ Standard deviation	σ	$mg \cdot dm^{-3}$	200,3	29,6	94,7	9,9
Współczynnik zmienności/ Coefficient of variability	V_{zm}	-	0,57	0,47	0,24	0,53
Wartość dopuszczalna/ Permissible value	X_{dop}	$mg \cdot dm^{-3}$	-	30	-	30
Liczba przekroczeń/ No. of transgressions	N_{prz}	szt./pcs.	-	33	-	2

A – Ścieki surowe/ Raw sewage, B – Ścieki oczyszczone/ Treated sewage

Dla okresu przed modernizacją średnie stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych wyniosło 62,9 $mg \cdot dm^{-3}$ podczas gdy maksymalne stężenie wyniosło 126,0 $mg \cdot dm^{-3}$. Potwierdza to (podobnie jak w przypadku BZT_5 i $ChZT_{Cr}$) niestabilną pracę oczyszczalni przed modernizacją. Znacznie niższe stężenia zawiesiny ogólnej zaobserwowano w okresie po modernizacji oczysz-

czalni. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej dla okresu po modernizacji oczyszczalni wyniosło 18,7 $mg \cdot dm^{-3}$ i była blisko 3,5 krotnie niższa niż przed modernizacją. Maksymalne stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych w okresie po modernizacji wyniosło 33,6 $mg \cdot dm^{-3}$. W celu utwierdzenia się w dotychczasowych stwierdzeniach należy prowadzić dalsze badania w celu uzyskania większej liczby wartości wskaźników w okresie po modernizacji.



Rysunek 5. Zestawienie wartości zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych na tle skuteczności jej zmniejszenia przed i po modernizacji

Figure 5. A comparison of total suspended solids values for raw and treated sewage on the background of its reduction effectiveness before and after the modernization

Analizując dane przedstawione na rycinie 5 i w tabeli 4 można zauważyć poprawę skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej po modernizacji oczyszczalni. Przed modernizacją średnia skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej wyniosła 78,1% podczas gdy w okresie po modernizacji ukształtowała się na poziomie 94,8%. Przed modernizacją oczyszczalni można było zauważyć znaczne wahania skuteczności usuwania zawiesiny ogólnej. Minimalna skuteczność zmniejszenia stężenia zawiesiny ogólnej przed modernizacją wyniosła zaledwie 36,5% a maksymalna wyniosła 97,0%. Po modernizacji zaobserwowano skuteczność usunięcia zawiesiny ogólnej od 87,6 do 99,0%. Świadczy to znacznej poprawie procesu oczyszczania ścieków.

Tabela 4. Zestawienie podstawowych statystyk opisowych skuteczności zmniejszenia badanych wskaźników zanieczyszczenia ścieków przed i po modernizacji w oczyszczalni w Haczowie
Table 4. A summary of basic descriptive statistics for effectiveness of reduction before and after the modernization of the treatment plant in Haczów

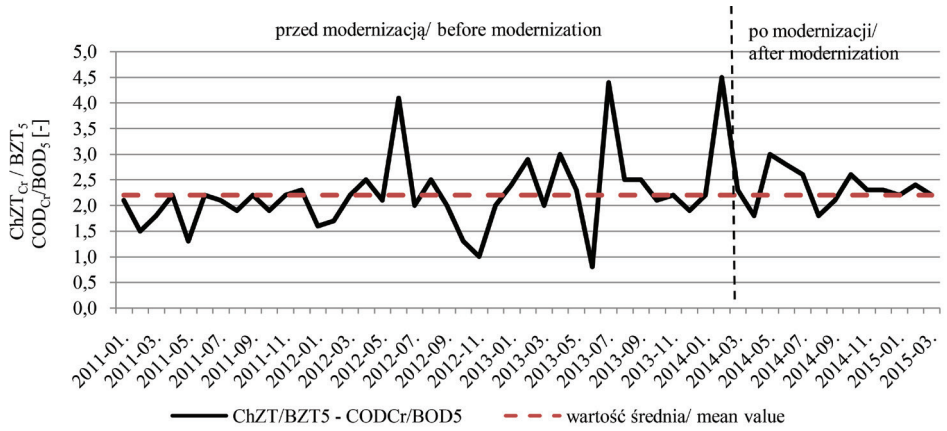
Statystyka opisowa/ Descriptive statistics	Symbol/ Symbol	Jedn./ Unit	Skuteczność zmniejszenia wskaźnika zanieczyszczenia ścieków/ Effectiveness of reduction [%]					
			BZT_5/ BOD_5		$ChZT_{Cr}$/ COD_{Cr}		Zawiesina ogólna/ Total suspended solids	
			A	B	A	B	A	B
Liczba próbek/ No. of samples	N	[szt.]	39	12	39	12	39	12
Wartość średnia/ Mean value	$\overline{X}$	[%]	78,9	97,3	70,3	91,9	78,1	94,8
Wartość maksymalna/ Maximum value	Max	[%]	97,1	99,1	95,2	95,9	97,0	99,0
Wartość minimalna/ Minimum value	Min	[%]	5,1	94,4	6,5	82,3	36,5	87,6
Odchylenie standardowe/ Standard deviation	σ	[%]	20,1	1,7	19,2	4,8	14,1	3,3
Współczynnik zmienności/ Coefficient of variability	V_{zm}	[-]	0,25	0,02	0,27	0,05	0,18	0,03

A – przed modernizacją/ before modernization, B – po modernizacji/ after modernization

Dla porównania, jak podaje Chmielowski i in. (2012) w oczyszczalni w technologii SBR o przepustowości 1000 $m^3 \cdot d^{-1}$ uzyskano skuteczność zmniejszenia BZT_5 na poziomie 96,23%, $ChZT_{Cr}$ 91,42 a zawiesiny ogólnej 95,71%. Są to wartość zbliżone do uzyskanych w badanym obiekcie.

Na zakończenie przedstawiono rozkład ilorazu wartości $ChZT_{Cr}$ do BZT_5 ścieków surowych w badanym okresie. Wartość stosunku $ChZT_{Cr}$ do BZT_5 informuje o podatności ścieków na biologiczny rozkład.

Biorąc pod uwagę dane przedstawione na rycinie 6 można zauważyć zróżnicowanie ilorazu $ChZT_{Cr}$ i BZT_5. Średnia wartość ilorazu $ChZT_{Cr}$ i BZT_5 w całym okresie badawczym wyniosła 2,2. Natomiast wartość minimalna wyniosła 0,8 a maksymalna 4,5. Zmienna wartość ilorazu może wpływać niekorzystnie na proces oczyszczania ścieków i powodować przekroczenia wartości dopuszczalnej w ściekach oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika.



Rysunek 6. Zestawienie ilorazów wartości $ChZT_{Cr}$ do BZT_5 ścieków surowych w badanym okresie
Figure 6. A summary of quotients for COD_{Cr} and BOD_5 values for raw sewage in the study period

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy zebranego materiału można wysnuć następujące wnioski:

- Modernizacja oczyszczalni wpłynęła korzystnie na efektywność zachodzących procesów oczyszczania ścieków.
- Znacznie niższe wartość trzech badanych wskaźników zanieczyszczenia ścieków (BZT_5, $ChZT_{Cr}$, zawiesina ogólna) świadczy o dobrze przeprowadzonej modernizacji oczyszczalni w Haczowie. Procesy usuwania związków węgla oraz zawiesiny ogólnej zachodzą poprawnie.
- Złoże biologiczne jest znacznie gorszym rozwiązaniem niż osad czynny i nie pozwala na osiągnięcie odpowiednich wartości badanych wskaźników.
- Skuteczność zmniejszenia po modernizacji oczyszczalni z zastosowaniem reaktora z osadem czynnym była znacznie wyższa niż przed modernizacją
- Średnie stężenie ścieków oczyszczonych przed modernizacją było na niskim poziomie i średnio kształtowało się: dla BZT_5 – 73,3 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, dla $ChZT_{Cr}$ – 227,9 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, dla zawiesiny ogólnej – 62,9 $mg \cdot dm^{-3}$. Przyczyną tego stanu mogła być niewystarczająca technologia oczyszczania ścieków jaką jest złoże biologiczne.
- Średnie stężenie ścieków oczyszczonych po modernizacji było na wysokim poziomie i średnio kształtowało się: dla BZT_5 – 8,4 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$,,

dla $ChZT_{Cr}$ – 61,7 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, dla zawiesiny ogólnej – 18,7 $mg \cdot dm^{-3}$. Przyczyną tego stanu mogła być niewystarczająca technologia oczyszczania ścieków jaką jest złoże biologiczne.

- Średnia skuteczność zmniejszenia badanych wskaźników zanieczyszczenia ścieków przed modernizacją oczyszczalni była na niskim poziomie i wyniosła odpowiednio: dla BZT_5 – 78,9 %, dla $ChZT_{Cr}$ 70,3% a dla zawiesiny ogólnej 78,1%. Przyczyną tego stanu była przestarzała technologia złoża biologicznego, która nie zapewniała niskich wartości wskaźników w ściekach oczyszczonych.
- Średnia skuteczność zmniejszenia badanych wskaźników zanieczyszczenia ścieków po modernizacji oczyszczalni była na wyższym poziomie niż przed modernizacją i wyniosła odpowiednio: dla BZT_5 – 97,3 %, dla $ChZT_{Cr}$ 91,9% a dla zawiesiny ogólnej 94,8%. Na poprawę skuteczności zmniejszenia badanych wskaźników wpłynęła zmiana części biologicznej oczyszczalni ze złoża biologicznego na technologię osadu czynnego.
- Podsumowując technologia oczyszczania ścieków w oparciu o złoże biologiczne jest mniej skuteczna niż oczyszczalnia wyposażona w reaktor osadu czynnego.
- Należy prowadzić dalsze badania w celu sprawdzenia czy nowa oczyszczalnia ścieków pracuje na odpowiednim poziomie zapewniającym stężenie wskaźników zanieczyszczenia ścieków w granicach dopuszczalnych przez obowiązujące Rozporządzenie.

LITERATURA

Bernacka J. 1984. *Odprowadzenie i oczyszczanie ścieków z budownictwa jednorodzinnego.* Materiały Seminaryjne nr 415. PZITS. Warszawa.

Bugajski P. 2009. *Zmienność ilości dopływających ścieków do oczyszczalni w Tęgoborzy.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2009/09.

Bugajski P., Ślizowski R. 2006. *Ocena działania oczyszczalni ścieków typu SBR w Sterkowcu-Zajazie.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2006/2 (2).

Chmielowski K., Kurek K., Bąk P. 2012. *Efektywność oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni w Lipnicy Wielkiej.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2012/03.

Heidrich Z., Witkowski A. 1993. *Kształtowanie wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę, usuwania i oczyszczania ścieków.* Zeszyt Problemowy PZITS nr 672. Technika Sanitarna Wsi.

Kaczor G. 2012. *Oddziaływanie wód przypadkowych na stężenie związków biogennych w ściekach surowych i oczyszczonych podczas pogody mokrej.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2012/03.

Kaczor G., Bugajski P., Bergel T. 2013. *Zastosowanie metody trójkąta do obliczania objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych w kanalizacji sanitarnej*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2013/04.

Kaczor G., Bugajski P. 2007. *Ocena pracy oczyszczalni ścieków typu Ecolo-chief w Spytkowicach.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2007/1.

Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych. 2003. Ministerstwo Środowiska. Warszawa.

Krzanowski S., Wałęga A. 2004. *Ocena niezawodności działania mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków dla miasta Dąbrowa Tarnowska.* Inżynieria włókiennicza i ochrona środowiska nr 14. ATH. Bielsko-Biała.

Pozwolenie wodno-prawne, znak OS-6223/4/03. 2003. Brzozów.

Pozwolenie wodno-prawne, znak SR.6341.11.2013. 2013. Brzozów.

Rozporządzenie 2014. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. 2014 poz. 1800.

Sikorski M. 1989. *Przegląd procesów, metod i urządzeń do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych możliwych do zastosowania w warunkach wiejskich.* Zagadnienia Techniki Sanitarnej Wsi. Oczyszczanie ścieków wiejskich, procesy, urządzenia, eksploatacyjne. Wrocław.

Sikorski M. 1994a. *Charakterystyka ścieków wiejskich i sposób ich unieszkodliwiania.* Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. Częstochowa.

Sikorski M. 1994b. *Oczyszczanie i oczyszczalnie w Polsce.* Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, nr 4.

Dr hab. inż. Krzysztof Chmielowski
Dr hab. inż. Piotr Bugajski
dr inż. Ewa Wąsik
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków
k.chmielowski@ur.krakow.pl

Wpłynęło: 10.03.2015
Akceptowano do druku: 15.10.2015