

Elena Neverova-Dziopak, Paulina Cierlikowska

Wpływ modernizacji wybranej oczyszczalni ścieków na stan troficzny wód odbiornika

Jednym z największych zagrożeń w zakresie ochrony wód powierzchniowych jest pogorszenie ich stanu w wyniku eutrofizacji. Najbardziej poważnym skutkiem eutrofizacji jest zmiana szeregu fizycznych i chemicznych wskaźników środowiska wodnego w kierunku wzrostu zawartości substancji biogennych i organicznych, zmniejszenia stopnia nasycenia wody tlenem, przezroczystości oraz zmiany barwy wody. Produkty rozkładu substancji organicznych wzbogacają wodę w metan, wodór, siarkowodór, azot amonowy, fenole i inne substancje szkodliwe. Wszystko to prowadzi do zmian strukturalnych i funkcjonalnych ekosystemów wodnych oraz pogorszenia właściwości użytkowych wód [1, 2]. Intensyfikacja rozwoju tego procesu jest związana w dużym stopniu z odprowadzaniem niedostatecznie oczyszczonych ścieków, zawierających związki azotu i fosforu.

Podstawowym dokumentem, który określa wymagania dotyczące ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez substancje biogenne pochodzące z sektora komunalnego jest dyrektywa 91/271/EWG z 21 maja 1991 r. Wymagania tej dyrektywy są wdrażane na całym terytorium kraju poprzez realizację działań zawartych w Krajowym Programie Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK). Polska zobowiązana została do 2015 r. do wybudowania, rozbudowy lub modernizacji oczyszczalni ścieków komunalnych i systemów kanalizacji zbiorczej w aglomeracjach o równoważnej liczbie mieszkańców (RLM) powyżej 2000 oraz do ograniczenia o 70% ilości związków biogennych pochodzących ze źródeł komunalnych. Postanowienia tzw. dyrektywy ściekowej uwzględniono również w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 24 lipca 2006 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. nr 137, poz. 984). Niestety ryzyko niespełnienia wymagań dotyczących właściwego stopnia usuwania zanieczyszczeń w ściekach nadal występuje zarówno w przypadku małych, jak i dużych oczyszczalni. Wprowadzenie nowych wymagań, ograniczających zawartość związków azotu i fosforu w ściekach odprowadzanych do wód powierzchniowych, spowodowało konieczność modernizacji wielu oczyszczalni.

Cel, zakres i metody badań

Celem badań była ocena oddziaływania oczyszczalni ścieków komunalnych „Sitkówka” w Kielcach po jej modernizacji na stan odbiornika, którym jest rzeka Bobrza, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu ścieków na stan troficzny wód rzeki. Analizę wpływu oczyszczalni ścieków na odbiornik przeprowadzono na podstawie porównania jakości wody w rzece poniżej i powyżej miejsca odprowadzania ścieków przed modernizacją oczyszczalni ścieków w 2006 r. oraz po jej modernizacji w 2012 r. Za tło posłużyły wartości wskaźników zanieczyszczeń pochodzące z danych monitoringu rzeki w 2006 r.

Ocenę stanu troficznego wód rzeki dokonano na podstawie rozporządzenia Ministra Środowiska z 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. nr 257, poz. 1545). W celu zwiększenia wiarygodności oceny zastosowano również integralne kryterium troficzności w postaci wskaźnika ITS (index of trophic state).

Przeprowadzona analiza została oparta na wynikach monitoringu wód, realizowanego przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Kielcach. Badania prowadzono co miesiąc w dwóch punktach pomiarowo-kontrolnych: powyżej zrzutu ścieków – punkt „Słowik” (km 13+400 biegu rzeki) oraz poniżej miejsca odprowadzania ścieków – punkt „Radkowiec” (km 4+500 biegu rzeki). Zakres pomiarów obejmował wskaźniki charakteryzujące warunki termiczne i tlenowe, a także zanieczyszczenia organiczne oraz wskaźniki eutroficzne.

Analiza skuteczności funkcjonowania oczyszczalni

Trwająca od 2008 r. modernizacja i rozbudowa oczyszczalni ścieków została zakończona w 2011 r. Oczyszczalnia ścieków komunalnych, zlokalizowana w Sitkówce (gm. Sitkówka-Nowiny), oczyszcza ścieki pochodzące z terenu Kielc, gminy Sitkówka-Nowiny oraz części gminy Maślów. Z operatu wodnoprawnego wynika, że celem rozbudowy i modernizacji oczyszczalni ścieków było zwiększenie jej przepustowości do $Q_{sr,d}=51$ tys. m^3/d , dostosowanie wielkości oczyszczalni do $RLM=289$ tys., stworzenie warunków do wzmożonego usuwania związków biogennych oraz budowa instalacji do termicznej utylizacji osadów ściekowych.

Ścieki dopływające do oczyszczalni są podczyszczane mechanicznie na kratkach schodkowych oraz w piaskownikach napowietrzanych z wydzielonym usuwaniem tłuszczów. Oczyszczalnia wyposażona jest również w zbiornik retencyjny, który zapewnia jej ochronę przed przeciążeniem hydraulicznym podczas ulewnych deszczów. Następnie ścieki tłoczone są do czterech osadników wstępnych, z których osad wstępny podawany jest do pompowni osadu wtórnego. Po części mechanicznej oczyszczalni ścieki przepływają korytem otwartym do części biologicznej. W komorach denitryfikacji wstępnej, do których recyrkulowany jest osad czynny, następuje częściowe usuwanie związków azotu ze ścieków. Kolejno ścieki kierowane są do komór defosfatacji, gdzie zachodzi usuwanie związków fosforu. Najistotniejszy element oczyszczalni stanowi reaktor biologiczny z wydzielonymi komorami denitryfikacji i nityfikacji, w którym następuje ostateczne usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków. Ścieki wraz z osadem czynnym przepływają do czterech osadników wtórnych, skąd po sklarowaniu odpływają do odbiornika ścieków – rzeki Bobrzy. Osad wraz ze skratkami, piaskiem i tłuszczem poddawany jest termicznej utylizacji na terenie oczyszczalni. W procesie przeróbki osadu wytwarzany jest biogaz, który napędza generatory, a wytworzona energia elektryczna jest wykorzystywana na potrzeby oczyszczalni ścieków.

Analiza skuteczności pracy oczyszczalni w czasie przed (2006 r.) i po modernizacji (2012 r.) opierała się na wynikach badań ścieków surowych i oczyszczonych wykonanych w laboratorium oczyszczalni [3]. Analizę przeprowadzono na podstawie średniomiesięcznych i średniodobowych wartości strumienia objętości ścieków oraz podstawowych wskaźników ich jakości, takich jak BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólne, azot ogólny i fosfor ogólny. Średniomiesięczna objętość ścieków odprowadzanych do odbiornika w 2006 r. wynosiła 1120456 m³, a w 2012 r. – 1146426 m³. Jakość ścieków surowych i oczyszczonych odprowadzanych w poszczególnych miesiącach z oczyszczalni „Sitkówka” przed modernizacją przedstawiono w tabeli 1.

W 2006 r. oczyszczalnia zapewniała właściwą skuteczność w zakresie usuwania substancji organicznych (BZT₅ i ChZT) ze ścieków, natomiast średnie zawartości związków azotu i fosforu oraz zawiesin ogólnych w odprowadzanych ściekach przekraczały wartości dopuszczalne, co wskazywało na potrzebę przeprowadzenia modernizacji oczyszczalni ścieków, zwłaszcza w zakresie usuwania substancji biogenych. Modernizacja zapewniła właściwą skuteczność oczyszczania ścieków w zakresie wszystkich podstawowych wskaźników zanieczyszczeń. Jakość ścieków surowych i oczyszczonych odprowadzanych w poszczególnych miesiącach z oczyszczalni „Sitkówka” w 2012 r. przedstawiono w tabeli 2, natomiast w tabeli 3 zestawiono sprawność działania oczyszczalni w latach 2006 i 2012 (tj. przed i po modernizacji) na tle krajowych wymagań prawnych. W wyniku modernizacji oczyszczalni ścieków istotnie wzrosła sprawność usuwania podstawowych zanieczyszczeń, w tym substancji biogenych (azotu ponad 2-krotnie, a fosforu 1,5-krotnie).

Charakterystyka odbiornika ścieków

Bobrza (zlewnia Nidy, region wodny Górnej Wisły) w całości przepływa przez teren powiatu kieleckiego (woj. świętokrzyskie). Długość rzeki wynosi 50,7 km, a całkowita powierzchnia zlewni 376,7 km². Rzeka w znacznym stopniu nosi ślady uregulowania. Jej głębokość waha się od 0,1 m do 1 m, a szerokość od 2 m do 5 m. W „Planie gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły” Bobrza została scharakteryzowana jako silnie zmieniona jednolita część wód powierzchniowych, zagrożona nieosiągnięciem celów środowiskowych.

Hydrologiczną charakterystykę Bobrzy ilustrują pokazane na rysunku 1 wartości przepływów charakterystycznych, uzyskane na podstawie pomiarów z wielolecia 1961–2000 (posterunek wodowskazowy IMGW w profilu „Słowik”) [4].

Tabela 1. Średniomiesięczne wartości wskaźników jakości ścieków w 2006 r.

Table 1. Average monthly values of wastewater quality parameters in 2006

Miesiąc	Ścieki surowe					Ścieki oczyszczone				
	BZT ₅ gO ₂ /m ³	ChZT gO ₂ /m ³	Zaw. og. g/m ³	Azot og. gN/m ³	Fosfor og. gP/m ³	BZT ₅ gO ₂ /m ³	ChZT gO ₂ /m ³	Zaw. og. g/m ³	Azot og. gN/m ³	Fosfor og. gP/m ³
I	271	667	258	72	7,8	15	98	34	46	3,4
II	248	927	318	69	8,7	15	103	40	46	4,0
III	305	678	312	59	8,2	15	99	37	37	2,9
IV	243	680	314	54	8,2	14	111	38	37	3,4
V	317	785	167	65	11,1	15	91	33	44	4,3
VI	331	876	297	71	9,3	15	102	36	43	4,3
VII	279	855	269	77	10,1	14	99	32	45	4,5
VIII	265	790	306	65	10,8	14	91	36	44	4,6
IX	296	938	354	76	9,1	14	89	39	46	4,5
X	326	833	270	77	9,1	15	93	38	49	4,7
XI	285	712	311	63	9,5	14	89	38	39	3,9
XII	326	930	280	93	7,9	15	94	40	45	4,0
Średnia roczna	291	806	288	70	9,0	15	97	37	43	4,0
Skuteczność oczyszczania, %						95	88	87	39	56

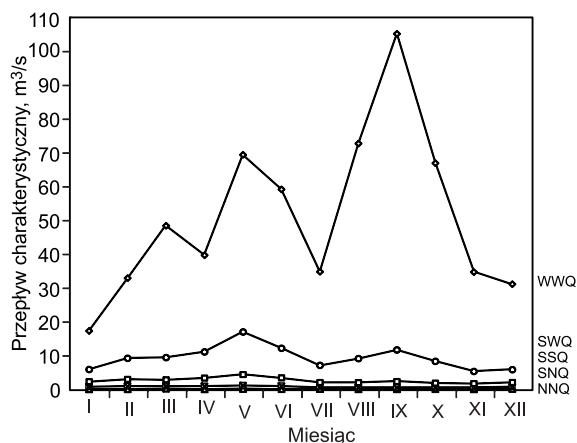
Tabela 2. Średniomiesięczne wartości wskaźników jakości ścieków w 2012 r.
Table 2. Average monthly values of wastewater quality parameters in 2012

Miesiąc	Ścieki surowe					Ścieki oczyszczone				
	BZT ₅ gO ₂ /m ³	ChZT gO ₂ /m ³	Zaw. og. g/m ³	Azot og. gN/m ³	Fosfor og. gP/m ³	BZT ₅ gO ₂ /m ³	ChZT gO ₂ /m ³	Zaw. og. g/m ³	Azot og. gN/m ³	Fosfor og. gP/m ³
I	320	823	430	90	8,1	4,5	37	5	6,7	0,4
II	264	989	371	85	8,0	3,5	30	4	8,9	0,4
III	227	1023	310	73	8,1	4,0	35	3	8,4	0,6
IV	301	736	300	70	7,0	3,5	38	5	7,2	0,4
V	298	730	324	70	7,3	2,0	31	5	6,5	0,3
VI	259	1205	328	64	8,0	1,5	39	3	5,2	0,6
VII	299	784	438	77	7,9	2,0	28	3	6,1	0,3
VIII	298	934	445	85	9,1	2,5	25	3	6,6	0,2
IX	216	670	307	86	8,6	3,5	28	5	7,1	0,2
X	307	867	445	81	7,9	3,0	42	5	6,5	0,3
XI	186	608	282	71	5,9	2,5	32	5	9,7	0,4
XII	357	924	345	87	8,7	4,0	38	5	9,7	0,4
Średnia roczna	278	858	360	77	7,9	3,0	34	4	7,4	0,4
Skuteczność oczyszczania, %						99	96	99	90	95

Tabela 3. Sprawność oczyszczania ścieków przed i po modernizacji oczyszczalni „Sitkówka”
Table 3. Wastewater treatment efficiency before and after Sitkówka plant modernization

Wskaźnik	Stopień usuwania zanieczyszczeń, %		
	2006 r.	2012 r.	Wymagany*
BZT ₅	95	99	90
ChZT	88	96	75
Zawiesiny og.	87	99	90
Azot ogólny	39	90	85
Fosfor ogólny	56	95	90

* wg rozporządzenia Ministra Środowiska z 24 lipca 2006 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. nr 137, poz. 984)



Rys. 1. Przepływy charakterystyczne w Bobrzy w wieloletni 1961–2000

Fig. 1. Multi-year flow characteristics for the Bobrza river in the period 1961–2000

Ocena wpływu ścieków na odbiornik

Analizując średnioroczne wartości wskaźników charakteryzujących warunki termiczne, tlenowe oraz zanieczyszczenia organiczne wód Bobrzy w 2006 r. (przed modernizacją) i 2012 r. (po modernizacji) należy stwierdzić poprawę jakości wody poniżej miejsca odprowadzania ścieków w zakresie tlenu rozpuszczonego, BZT₅ oraz OWO. Wartości średnie tych wskaźników odpowiadały I klasie czystości, z wyjątkiem BZT₅, którego wartości mieszczą się w II klasie (tab. 4).

Wartości wskaźników eutrofizacji w przekroju powyżej miejsca odprowadzania ścieków przyjęto jako tło. Wartości wszystkich wskaźników eutrofizacji mieściły się w I klasie czystości, oprócz zawartości fosforanów, która nieco przekraczała wartość dopuszczalną w II klasie. W związku z tym ten odcinek rzeki, ze względu na zawartość fosforanów, powinien być zakwalifikowany jako zagrożony eutrofizacją. W przekroju rzeki poniżej miejsca odprowadzania ścieków negatywne oddziaływanie zanieczyszczeń na jakość wód odbiornika było bardzo wyraźne. Przed modernizacją oczyszczalni w miejscu poniżej wprowadzania ścieków do odbiornika wartości wszystkich wskaźników eutrofizacji (oprócz azotanów) znacznie przekraczały wartości dopuszczalne w II klasie czystości, co jednoznacznie wskazywało na poważne zagrożenie wód eutrofizacją pod wpływem niedostatecznie oczyszczonych ścieków komunalnych. Modernizacja oczyszczalni ścieków, która miała na celu przede wszystkim zwiększenie skuteczności usuwania substancji biogennej, przyczyniła się do znacznego ograniczenia ryzyka eutrofizacji wód odbiornika. W 2012 r. w zakresie wskaźników biogennej stwierdzono nieznaczne przekroczenia wartości granicznych w II klasie czystości jedynie w przypadku fosforanów. Poprawę jakości wód pod względem zawartości substancji biogennej po modernizacji oczyszczalni ścieków przedstawiono na rysunku 2.

Tabela 4. Wartości podstawowych wskaźników jakości wód Bobrzy poniżej oczyszczalni ścieków „Sitkówka” („Radkowice”) przed (2006 r.) i po (2012 r.) modernizacji [5, 6]

Table 4. Basic quality parameters of the Bobrza river water below Sitkówka wastewater discharge point (Radkowice) before and after modernization (year 2006 and 2012, respectively) [5, 6]

Miesiąc	Temperatura, °C		Tlen rozp., gO ₂ /m ³		pH		BTZ ₅ , gO ₂ /m ³		OWO, gC/m ³	
	wartość graniczna w II klasie czystości									
	≤24		≥5		6÷9		≤6		≤15	
	2006	2012	2006	2012	2006	2012	2006	2012	2006	2012
I	2	–	8	–	8	–	29*	–	–	–
II	3	3	11	11	8	8	12*	5	14	8
III	4	5	10	11	8	8	16*	6	13	6
IV	9	–	9	–	8	–	6	–	9	–
I	15	17	6	8	8	8	7*	3	8	6
VI	19	16	9	9	8	8	7*	2	9	7
VII	19	–	5	–	8	–	5	–	10	–
VIII	16	14	3*	9	8	8	6	2	9	6
IX	15	13	3*	9	8	8	8*	2	13	6
X	8	–	6	–	8	–	8*	–	9	–
XI	7	9	10	10	8	8	6	2	11	6
XII	8	4	7	11	8	8	8*	8*	9	10
Średnia roczna	10	10	7	10	8	8	10*	4	10	7

* przekroczenia wartości dopuszczalnych w II klasie czystości

Uzasadnienie wyboru metody oceny stanu troficznego wód rzeki

Ocena stanu troficznego wód Bobrzy w 2006 r. i 2012 r. wykazała zagrożenie eutrofizacją zarówno przed, jak i po modernizacji oczyszczalni ścieków. Należy jednak podkreślić, że rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 listopada 2011 r. pozwala ocenić stan troficzny wód tylko w kategoriach istnienia czy braku zagrożenia eutrofizacją, co nie daje możliwości zróżnicowania poszczególnych stanów trofii. Z tego względu w celu bardziej precyzyjnej oceny oddziaływania ścieków z oczyszczalni „Sitkówka” na stan troficzny odbiornika zastosowano metodologię opartą na integralnym wskaźniku stanu troficznego wód – ITS (index of trophic state). Wskaźnik ten opiera się na założeniach teoretycznych, w myśl których zaburzenie równowagi procesów produkcji i rozkładu substancji organicznych w środowisku wodnym prowadzi przede wszystkim do zmian stosunków ilościowych zawartości tlenu i dwutlenku węgla w wodzie. Wartość wskaźnika stanu troficznego wód oblicza się na podstawie równania [7]:

$$ITS = \sum [pH]_i/n + a(100 - \sum [O_2]/n) \quad (1)$$

w którym:

[pH]_i – wartość pH

[O₂] – stopień nasycenia wody tlenem (wyznaczony równocześnie z pomiarem pH), %

a – współczynnik empiryczny

n – liczba pomiarów

Wartości liczbowe wskaźnika ITS w wodach o różnym stanie troficzności przedstawia tabela 5.

Obecnie prawie wszystkie metody oceny troficzności dotyczą wód stojących, natomiast brakuje wiarygodnych wskaźników przystosowanych do oceny stanu troficznego wód rzecznych [8–10]. Zasadność wyboru kryterium troficzności ITS oparto na wynikach badań nad weryfikacją

Tabela 5. Wartości wskaźnika ITS w wodach o różnym stanie troficzności [7]

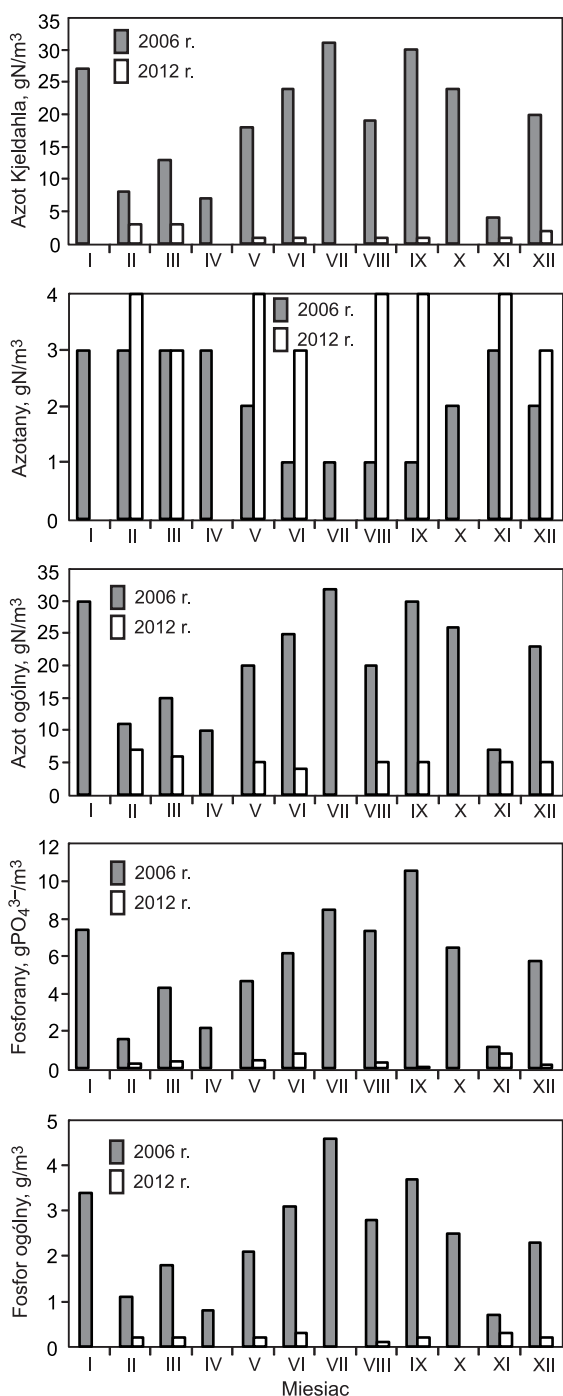
Table 5. ITS index values in waters of various trophic state [7]

Stan	ITS
Dystroficzny	<5,7 ±0,3
Ultraoligotroficzny	6,3 ±0,3
Oligotroficzny	7,0 ±0,3
Mezotroficzny	7,7 ±0,3
Eutroficzny	>8,3 ±0,3

jego zastosowania do oceny stanu troficznego wód płynących. Weryfikacja opierała się na danych z 10-letniego monitoringu prowadzonego w 402 punktach pomiarowo-kontrolnych zlokalizowanych na 235 polskich rzekach. Udowodniła ona wysoki stopień zgodności ocen stanu troficznego, dokonanej na podstawie wartości ITS oraz innych metod – zawartości substancji biogennej i chlorofilu, wartości wskaźnika Vollenweidera (TRIX) oraz wskaźnika Carlsona (TSI) i innych. Stopień zgodności wyników oceny stanu troficznego wód rzecznych, dokonanej na podstawie wskaźników TSI oraz TRIX z oceną przeprowadzoną za pomocą wskaźnika ITS przedstawia rysunek 3 [10, 11].

Ocena wpływu ścieków na stan troficzny wód odbiornika

Obliczenie liczbowych wartości zastosowanego wskaźnika ITS według wzoru (1) pozwoliło określić poziomy troficzności powyżej miejsca wprowadzenia ścieków (tło) oraz w przekroju poniżej miejsca odprowadzania ścieków przed i po modernizacji oczyszczalni „Sitkówka”. Uzyskane wyniki oceny stanu troficznego wód Bobrzy zestawiono w tabeli 6.

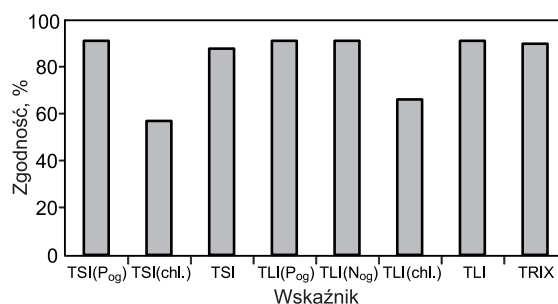


Rys. 2. Zawartość substancji biogennej w wodach Bobrza poniżej miejsca odprowadzania ścieków z oczyszczalni „Sitkówka” („Radkowice”) przed (2006 r.) i po modernizacji oczyszczalni (2012 r.)

Fig. 2. Biogenic matter content in the Bobrza river below wastewater discharge point (Radkowice) before and after Sitkówka treatment plant modernization (year 2006 and 2012, respectively)

Tabela 6. Stan trofii wód Bobrza na podstawie wartości wskaźnika ITS
Table 6. Trophic state of the Bobrza river based on ITS index value

Punkt pomiarowo-kontrolny	ITS	Stan
„Słowik” (2006)	7,9	mezotroficzny
„Radkowice” (2006)	8,2	eutroficzny
„Radkowice” (2012)	8,0	mezo-eutroficzny



Rys. 3. Zgodność oceny stanu troficzności na podstawie wskaźnika ITS z ocenami wykonanymi na podstawie wskaźników TSI i TRIX

Fig. 3. Compatibility of trophic state assessment data received based on ITS, TSI and TRIX

Zastosowana metoda pozwoliła stwierdzić negatywny wpływ ścieków na stan troficzny odbiornika w 2006 r., o czym świadczył wzrost stanu troficznego z mezotroficznego (powyżej) do eutroficznego (poniżej miejsca odprowadzania ścieków). Jednocześnie po modernizacji oczyszczalni ścieków, w wyniku zwiększonej skuteczności usuwania związków biogennej, wpływ ścieków na stan troficzny był nieznaczny, a wartość wskaźnika ITS charakteryzowała stan trofii wody w tym punkcie jako stan mezo-eutroficzny. Przedstawiona ocena jest zbieżna z wcześniej zamieszczonymi wnioskami, sformułowanymi na podstawie zawartości substancji biogennej w rzece, z których również wynika, że oczyszczalnia ścieków „Sitkówka” po modernizacji nie wpływa na intensyfikację eutrofizacji wód Bobrza.

Wpływ ścieków na jakość wody w rzece został określony nie tylko w punkcie poniżej miejsca odprowadzania ścieków, lecz również w przekroju o pełnym wymieszaniu w różnych warunkach hydrologicznych (minimalny, średni i najwyższy przepływ w roku) na podstawie wzoru [12]:

$$K_m = K_o + (K_s - K_o)n_p \quad (2)$$

w którym:

K_m – zawartość zanieczyszczeń po całkowitym wymieszaniu i rozcieńczeniu ścieków wodami odbiornika, g/m^3

K_o – zawartość zanieczyszczeń w wodzie odbiornika przed wprowadzeniem ścieków (tło), g/m^3

K_s – zawartość zanieczyszczeń w ściekach, g/m^3

n_p – stopień rozcieńczenia ścieków w przekroju o pełnym wymieszaniu

Zawartość zanieczyszczeń w przekroju o pełnym wymieszaniu, obliczoną na podstawie wzoru (1) przedstawia tabela 7. W 2006 r. w przekroju poniżej miejsca odprowadzania ścieków w wyniku niewielkiej skuteczności usuwania substancji biogennej zawartość związków azotu i fosforu w wodzie rzecznej, w przekroju o pełnym wymieszaniu w różnych warunkach hydrologicznych, przekraczała wartości graniczne w II klasie czystości. Świadczyło to o zagrożeniu wód odbiornika eutrofizacją pod wpływem niedostatecznie oczyszczonych ścieków. Po modernizacji oczyszczalni ścieków w 2012 r. jakość wód w rzece w zakresie wskaźników troficznych, organicznych i zawiesin ogólnych w przekroju o pełnym wymieszaniu mieściła się w II klasie czystości zarówno w warunkach przepływów minimalnego i średniego, jak i maksymalnego. Oczyszczenie ścieków było na tyle skuteczne, że nawet w sytuacjach ekstremalnych, tj. przy najniższym przepływie, nie odnotowano przekroczenia wartości granicznych w II klasie czystości, a stan troficzny wód rzeki zmniejszył się z eutroficznego do mezo-eutroficznego.

Tabela 7. Zawartość zanieczyszczeń po całkowitym wymieszaniu i rozcieńczeniu ścieków wodami odbiornika w różnych warunkach hydrologicznych

Table 7. Pollutant concentration after complete wastewater mixing and diluting with the recipient water in different hydrologic conditions

Wskaźnik	Przeływ wód rzecznych						Wartość graniczna w II klasie czystości
	2006 r.			2012 r.			
	min.	śr.	maks.	min.	śr.	maks.	
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	10	5	3	2	2	2	≤6
Zawiesiny ogólne, g/m ³	32	25	27	10	12	11	≤50
Azot ogólny, gN/m ³	28	13	7	5	5	5	≤10
Fosfor ogólny, gP/m ³	2,6	1,2	0,6	0,3	0,3	0,3	≤0,4

Wnioski

♦ Modernizacja oczyszczalni „Sitkówka” umożliwiła uzyskanie wymaganych wartości wszystkich podstawowych wskaźników zanieczyszczeń ścieków oczyszczonych odprowadzanych do Bobrzy, przy czym zwłaszcza znacznie poprawiła się skuteczność usuwania substancji biogennej ze ścieków.

♦ Ocena stopnia eutrofizacji wód Bobrzy dokonana na podstawie wartości wskaźnika ITS pozwoliła określić faktyczny stan trofii odbiornika powyżej i poniżej miejsca wprowadzania ścieków. Stwierdzono znaczne zmniejszenie wpływu ścieków na stan troficzny wód po modernizacji oczyszczalni, który utrzymuje się na poziomie mezo-eutroficznym.

♦ Wartości podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w przekroju o pełnym wymieszaniu, obliczone w ekstremalnych warunkach hydrologicznych, wskazują, że wody Bobrzy w tym przekroju charakteryzują się II klasą czystości, a stopień zagrożenia wód eutrofizacją uległ wyraźnemu zmniejszeniu.

LITERATURA

1. E. NEVEROVA-DZIOPAK: Ekologiczne aspekty ochrony wód powierzchniowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
2. M.F. CHISLOCK, R.A. ZITOMER, A.E. WILSON: Eutrophication: Causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge* 2013, 4(4):10.
3. Wyniki badań jakościowo-ilościowych ścieków z oczyszczalni „Sitkówka”. Wodociągi Kieleckie, Kielce 2006 i 2012 (prace niepublikowane).
4. Pomiary hydrologiczne w przekroju Bobrza–Słowik. IMGW – PIB, Wrocław 2006 i 2012 (prace niepublikowane).
5. Wyniki pomiarów jakości wód powierzchniowych w województwie świętokrzyskim w 2006 r. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Kielce 2007.
6. Wyniki klasyfikacji i oceny stanu wód powierzchniowych w województwie świętokrzyskim w latach 2010–2012. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Kielce 2013.
7. E. NEVEROVA-DZIOPAK: Podstawy zarządzania procesem eutrofizacji antropogenicznej. Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
8. W.K. DODDS: Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnology and Oceanography* 2006, Vol. 51 (1, part 2), pp. 671–680.
9. J.G. FERREIRA., J. ANDERSEN, A. BORJA: Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2011, Vol. 93, No. 2, pp. 117–131.
10. Z. KOWALEWSKI: Weryfikacja możliwości zastosowania integralnego kryterium do oceny stanu troficznego wód. Rozprawa doktorska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2012 (praca niepublikowana).
11. E. NEVEROVA-DZIOPAK, Z. KOWALEWSKI: Possibilities of application of its integral criterion for trophic state assessment of water bodies in Poland. Proc. of XIV International Environmental Forum 'Baltic Sea Day', Cielowiek, St. Petersburg 2013.
12. Z. HEIDRICH [red.]: Przewodnik Gospodarki Wodno-Ściekowej. Wydawnictwo Verlag Dashofer, Warszawa 2012.

Neverova-Dziopak, E., Cierlikowska, P. Impact of Wastewater Treatment Plant Modernization on Trophic State of Recipient. *Ochrona Środowiska* 2014, Vol. 36, No. 2, pp. 53–58.

Abstract: An analysis of influence of urban wastewater from Sitkówka Wastewater Treatment Plant in Kielce on water quality and trophic state of the Bobrza river was performed in the period before and after the plant modernization. The wastewater treatment plant effectiveness analysis was determined in 2006 and 2012 (prior to modernization and after modernization, respectively) in terms of basic pollution

indicators and with the main focus on biogenic matter. The trophic state of the river was assessed at cross-sections above and below the wastewater discharge point, before and after modernization, on the basis of an integral criterion, index of trophic state (ITS). The research results showed a positive effect of wastewater treatment plant modernization on the recipient water quality. Reduction of risk of eutrophication occurring before the modernization was demonstrated as well as the improvement from eutrophic to meso-eutrophic state.

Keywords: River water, wastewater treatment, eutrophication, biogenic matter, trophic index.