

Maja LEWANDOWSKA-ROBAK^{1*}, Łukasz GÓRSKI¹, Tomasz KOWALKOWSKI²
Halina DĄBKOWSKA-NASKRĘT³, Iwona MIESIKOWSKA¹

¹ Wyższa Szkoła Środowiska, Wydział Ochrony Środowiska, ul. Fordońska 120, 85-739 Bydgoszcz

² Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Chemii, Katedra Chemii Środowiska i Bioanalizy, ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń

³ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz

* tel. 52 342 92 90, e-mail: dziekan@wss.edu.pl

Wpływ ścieków oczyszczonych odprowadzanych z Oczyszczalni Ścieków w Tucholi na jakość wody w strudze Kicz

Tuchola jest największym miastem położonym w Borach Tucholskich - dużym kompleksie lasów sosnowych, wchodzącym w skład obszarów Natura 2000. W 1992 r. w Tucholi zbudowano oczyszczalnię ścieków typu mechaniczno-biologicznego z podwyższonym usuwaniem związków biogenych, odbierającą ścieki z terenu miasta i gminy Tuchola oraz gmin Cekcyn i Kęsowo. Od tamtej pory struga Kicz (zlewnia rzeki Brdy), odbierająca wcześniej ścieki nieoczyszczone, jest odbiornikiem ścieków oczyszczonych i jakość jej wód wzrosła. Celem badań była analiza wpływu ścieków oczyszczonych odprowadzanych z oczyszczalni ścieków do strugi Kicz na jakość wody tej strugi. W okresie od listopada 2008 roku do czerwca 2009 roku pobierano raz w miesiącu próbki wody ze strugi Kicz powyżej i poniżej ujścia ścieków oraz próbki ścieków nieoczyszczonych i oczyszczonych. Stwierdzono wysoką, choć niewystarczającą efektywność procesu oczyszczania ścieków w Oczyszczalni Ścieków w Tucholi. Na podstawie analizy statystycznej za pomocą testu kolejności par Wilcozona stwierdzono istotnie gorszą jakość wody w strudze poniżej ujścia ścieków pod względem BZT₅, azotanów(III) i (V) oraz chlorków. Zrzut ścieków nie miał natomiast istotnego wpływu na inne parametry jakości wody, tj. pH, ChZT, azot amonowy, fosforany i zawiesinę ogólną. Nadal niezbędne są działania prowadzące do poprawy jakości wody w strudze Kicz, przy czym w szczególności poprawy wymaga wartość ChZT.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia wody, analiza jonów nieorganicznych, oczyszczalnia ścieków, analiza statystyczna

Wprowadzenie

Występująca w przyrodzie woda zawiera różnego rodzaju składniki mineralne i organiczne zarówno pochodzenia naturalnego, jak i antropogenicznego. O ich stężeniu decyduje stan środowiska naturalnego.

Ze względu na postępującą degradację środowiska przyrodniczego coraz większa ilość wód nie odpowiada obowiązującym normom. Do najbardziej narażonych na zanieczyszczenia należą wody powierzchniowe, głównie rzeki, które są odbiornikami ścieków oraz powierzchniowych i gruntowych spływów z terenów rolniczych, przemysłowych, a także ze składowisk odpadów komunalnych [1]. Według

danych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, w 2008 r. tylko 1,1% rzek objętych monitoringiem diagnostycznym spełniał normy I klasy jakości. Rzeki, których wody należały do V klasy, reprezentującej zły stan ekologiczny, stanowiły aż 18,2% [2].

W wyniku odprowadzania do wód powierzchniowych ścieków przemysłowych i bytowo-gospodarczych na całym świecie notowane są wysokie stężenia substancji biogenicznych. Wysoki poziom azotu amonowego i ogólnego wykryto w dopływach Rzeki Żółtej w Chinach [3]. W wodach oceanicznych Australii stwierdzono podwyższone stężenie amoniaku w wyniku zrzutu ścieków oczyszczonych [4]. W zbiorniku Mamasin w Turcji wykryto silnie podwyższony poziom azotanów(III) i (V) oraz azotu amonowego, obecnego tam pod wpływem działań rolniczych, ścieków przemysłowych i bytowo-gospodarczych [5]. Badania emisji substancji biogenicznych w dorzeczu Wisły wykazały tylko niewielki spadek na przestrzeni lat 90. XX wieku [6]. Konsekwencją tego faktu był wysoki ładunek nutrientów w Zalewie Wiślanym w wyniku dużych ilości odprowadzanych ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych [7].

Skład wód powierzchniowych jest funkcją wielu parametrów, których udział charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie i przestrzeni oraz różnorodnością substancji w nich występujących.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych (DzU Nr 162, poz. 1008), o przynależności wody do odpowiedniej klasy i jej użyteczności decydują m.in.: wskaźniki fizyczne (temperatura, zawiesina ogólna), wskaźniki charakteryzujące zasolenie (chlorki, siarczany), zakwaszenie (pH) oraz warunki biogenne (azot amonowy, azot azotanowy, azot ogólny, fosfor ogólny), wskaźniki tlenowe (tlen rozpuszczony, biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT₅), chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT)) oraz wskaźniki biologiczne i hydromorfologiczne [8].

W celu polepszenia jakości środowiska jednym z priorytetów polityki ekologicznej RP jest przywracanie czystości wód. W Polsce dzięki wsparciu Unii Europejskiej zbudowano lub unowocześniono strukturę oczyszczania ścieków komunalnych. Obecnie 86% mieszkańców miast i 22% mieszkańców wsi korzysta z oczyszczalni ścieków. W 1995 r. odsetek ten wynosił odpowiednio 65 oraz 3% [9]. Wzrosła nie tylko ilość, ale także udział oczyszczalni ścieków z podwyższonym usuwaniem substancji biogenicznych. Innym aspektem działań w kierunku ochrony wód powierzchniowych jest również ograniczanie emisji ze źródeł obszarowych poprzez zmiany w gospodarowaniu terenami rolniczymi.

Bory Tucholskie, stanowiące jeden z największych kompleksów lasów sosnowych Polski, wchodzi jednocześnie w skład obszarów Natura 2000. W obrębie Borów istnieją również 4 parki krajobrazowe oraz 17 rezerwatów przyrody. Unikalna flora i fauna oraz specyficzny mikroklimat powodują, że region ten jest także atrakcyjnym obszarem turystycznym.

Największym miastem regionu jest Tuchola, która do 1992 r. odprowadzała nieoczyszczone ścieki do rzeki Kicz. Badania prowadzone przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy przed uporządkowaniem gospodarki

ściekowej w gminie Tuchola wykazywały wysokie przekroczenia norm w odniesieniu do wielu wskaźników, m.in. BZT₅, fosforanów, fosforu ogólnego, zawiesiny ogólnej, oraz bardzo wysokie skażenie bakteriologiczne.

Obecnie struga Kicz, znajdująca się w zlewni rzeki Brdy i przepływająca przez teren dwóch gmin: Tucholi i Kęsowa, jest bezpośrednim odbiornikiem oczyszczonych ścieków z Oczyszczalni Ścieków w Tucholi. Uruchomienie komunalnej oczyszczalni ścieków w 1992 roku pozytywnie wpłynęło na jakość wód zarówno Kiczy, jak i Brdy. W 2000 roku, pomimo stwierdzonych pozytywnych zmian parametrów jakościowych tej strugi, stężenia związków fosforu, a przede wszystkim skażenie bakteriologiczne poniżej Tucholi nadal wykraczały poza normy dopuszczalne dla wód powierzchniowych. Odcinek powyżej Tucholi mieścił się w III klasie czystości [10].

Komunalna oczyszczalnia ścieków położona jest w południowej części miasta Tuchola nad strugą Kicz. Zajmuje obszar ok. 3,2 ha i otoczona jest ze wszystkich stron wysoką naturalną zielenią. Jest to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna z podwyższonym usuwaniem związków biogenych. Oczyszczalnia z punktem zlewnym nieczystości płynnych odbiera ścieki gospodarczo-bytowe z całego skanalizowanego terenu miasta Tuchola, Gminy Tuchola oraz Gminy Cekcyn i Gminy Kęsowo, a także przez punkt zlewny ścieki z bezodpływowych zbiorników usytuowanych przy budynkach jednorodzinnych i zakładach zlokalizowanych na terenie miasta i gminy.

Dane ilościowe dotyczące ścieków w Oczyszczalni Ścieków w Tucholi kształtują się następująco:

- średniodobowy przepływ ścieków	$Q_{d\text{sr}} = 4515,0 \text{ m}^3/\text{d}$
- maksymalny dobowy przepływ ścieków	$Q_{d\text{max}} = 6234,0 \text{ m}^3/\text{d}$
- średni godzinowy przepływ ścieków	$Q_{h\text{sr}} = 260,0 \text{ m}^3/\text{h}$
- maksymalny godzinowy przepływ ścieków	$Q_{h\text{max}} = 520,0 \text{ m}^3/\text{h}$
- przepływ z godzin dziennych	$Q_{h\text{dz}} = 361,4 \text{ m}^3/\text{h}$

Średnie stężenia zanieczyszczeń w ściekach dopływających do oczyszczalni wynoszą:

- stężenie BZT ₅	$S_{\text{BZT5}} = 412,0 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
- stężenie CHZT	$S_{\text{CHZT}} = 1031,0 \text{ gO}_2/\text{m}^3$
- stężenie zawiesiny og.	$S_{\text{Zog}} = 447,0 \text{ g}/\text{m}^3$
- stężenie azotu og.	$S_{\text{Nog}} = 76,0 \text{ gN}/\text{m}^3$
- stężenie fosforu og.	$S_{\text{Pog}} = 17,0 \text{ gP}/\text{m}^3$

Celem pracy jest analiza wpływu ścieków oczyszczonych odprowadzanych z Oczyszczalni Ścieków w Tucholi do strugi Kicz na jakość wody tej strugi, a także określenie efektywności procesu oczyszczania ścieków w tej oczyszczalni oraz zakwalifikowanie wody w strudze Kicz do odpowiedniej klasy jakości.

1. Materiały i metody

Próbki wody i ścieków pobierano jeden raz w miesiącu przez 8 miesięcy w okresie od 11 listopada 2008 roku do 4 czerwca 2009 roku. W celu zapewnienia odpowiedniej reprezentatywności próbki pobierano trzykrotnie co 30 minut. Aby

zapobiec zmianom składu i właściwości pobranych próbek, badania laboratoryjne wykonywano w Laboratorium Analitycznym w Tucholi w dniu pobierania próbek. Pobierano następujące próbki:

- (i) ścieków nieoczyszczonych z komory rozdzielczej, do której kanałem grawitacyjnym dopływają ścieki z gmin: Tuchola, Cekcyn i Kęsowo oraz ścieki dowożone do punktu zlewnego zlokalizowanego na terenie oczyszczalni ścieków,
- (ii) ścieków oczyszczonych odprowadzanych z oczyszczalni ścieków do odbieralnika, którym jest struga Kicz,
- (iii) wody powierzchniowej ze strugi Kicz powyżej ujścia ścieków oczyszczonych na mostku w odległości 100 m od ujścia, na 1/3 głębokości strugi,
- (iv) wody powierzchniowej ze strugi Kicz poniżej ujścia ścieków oczyszczonych w odległości 100 m od ujścia ścieków, w miejscu wymieszania się wód odbieralnika ze ściekami.

W pobranych próbkach wody i ścieków wykonano analizy szeregu parametrów fizykochemicznych opisanych w tabeli 1.

Tabela 1

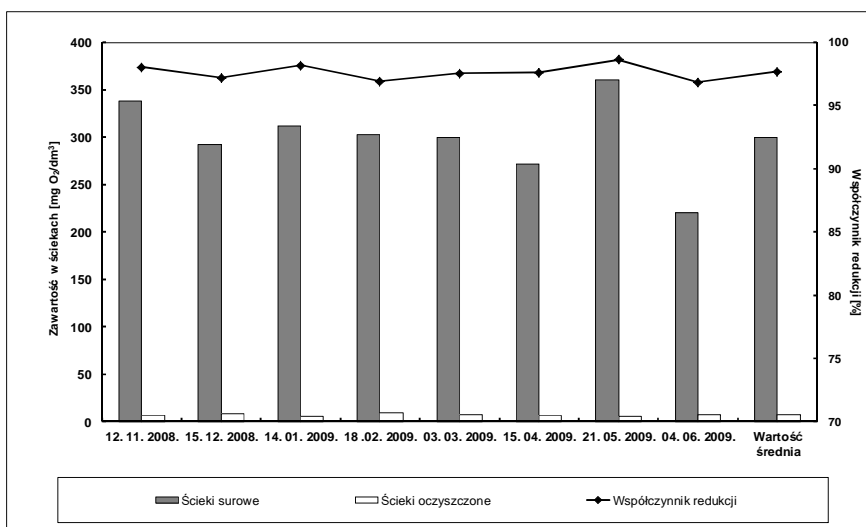
Charakterystyka wybranych metod analitycznych

Analiza	Metoda	Nr normy	Literatura
ChZT	metoda dwuchromianowa	PN-74/C- 04578.03	[11]
BZT ₅	metoda rozcieńczeń i szczepienia z dodatkiem allilotiomocznika	PN-EN 1899-1:2002	[12]
zawiesina ogólna	metoda wagowa z zastosowaniem filtracji	PN-EN 872:2002	[13]
azot amonowy (< 3 mgNH ₄ /dm ³)	spektrometria UV-VIS	PN-ISO 7150-1:2002	[14]
azot amonowy	destylacja	PN-ISO 5664:2002	[15]
azot ogólny Kjeldahla	metoda Kjeldahla po mineralizacji z selenem	PN-EN 25663:2001	[16]
azot azotanowy(III)	spektrometria UV-VIS	PN-EN 26777:1999	[17]
azot azotanowy(V)	kolorymetria	PN-82/C-04576.08	[18]
fosfor ortofosforanowy	spektrometria UV-VIS	PN-EN ISO 6878: 2006	[19]
chlorki	metoda miareczkowa	PN-ISO 9297:1994	[20]
pH	potencjometria	PN 90 C 04540/01	[21]

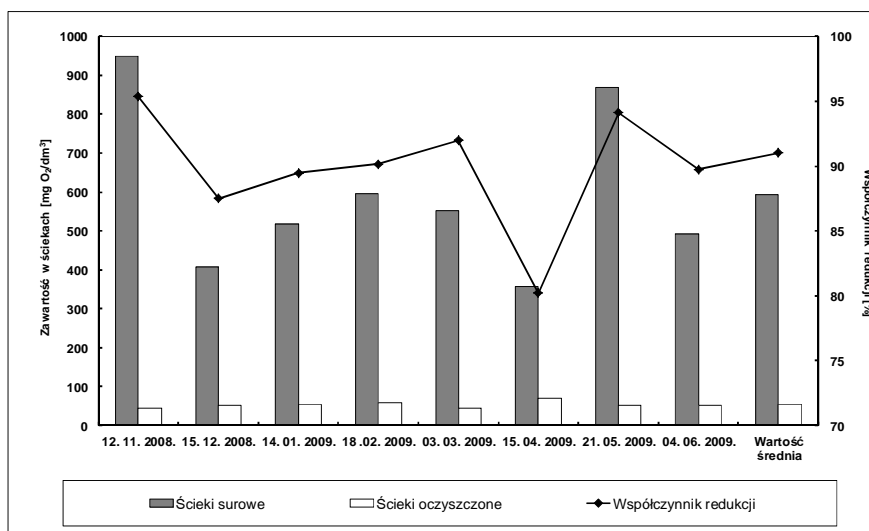
W celu zbadania wpływu oczyszczalni ścieków na jakość wód zastosowano nieparametryczny test kolejności par Wilcozona, który umożliwił określenie, czy analizowane wskaźniki wód powierzchniowych różniły się istotnie w dwóch punktach zlokalizowanych na rzece Kicz: nad i pod miejscem doprowadzenia oczyszczonych ścieków. Wyboru testu dokonano ze względu na brak normalności rozkładu większości analizowanych parametrów, zgodnie z wynikami testu Shapiro-Wilka.

2. Wyniki i dyskusja

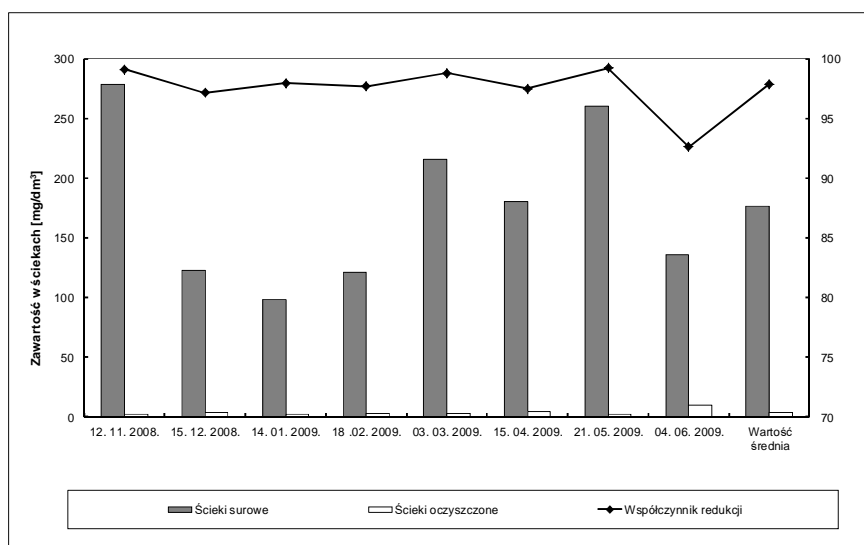
Ilość i jakość ścieków dopływających do oczyszczalni oraz odprowadzanych z oczyszczalni ma bardzo duży wpływ na efektywność procesu oczyszczania i jakość wody odbieralnika. Na wykresach 1-6 przedstawiono zmierzone w badanych próbkach wartości BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólnej, fosforanów, azotu amonowego i azotu ogólnego oraz obliczone na ich podstawie współczynniki redukcji.



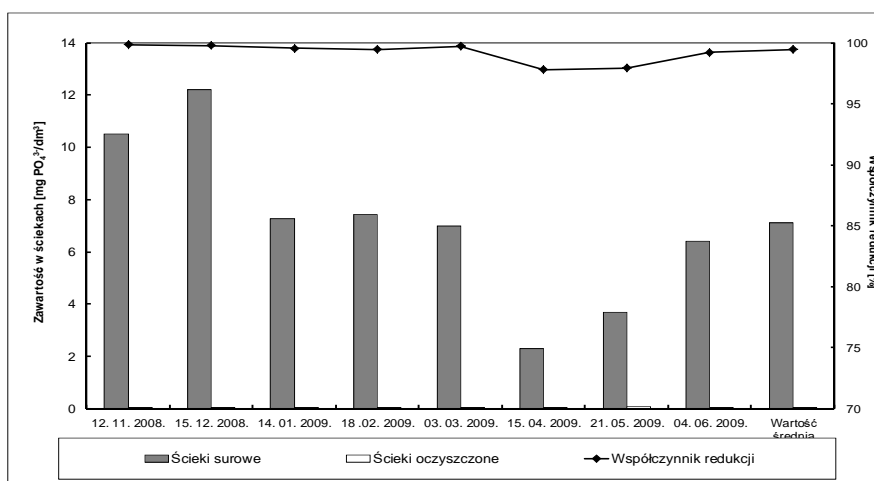
Rys. 1. Wartości BZT₅ w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych oraz współczynniki redukcji



Rys. 2. Wartości ChZT w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych oraz współczynniki redukcji



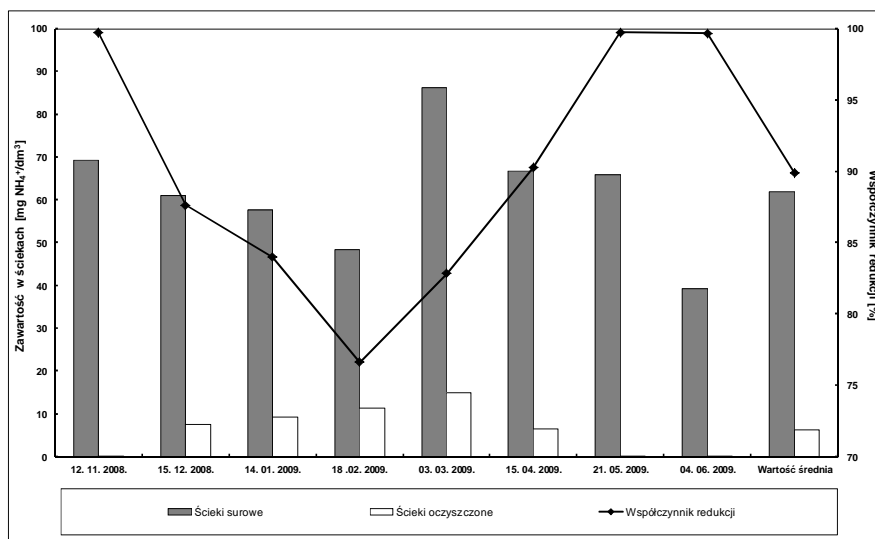
Rys. 3. Zawartość zawiesiny ogólnej w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych oraz współczynniki redukcji



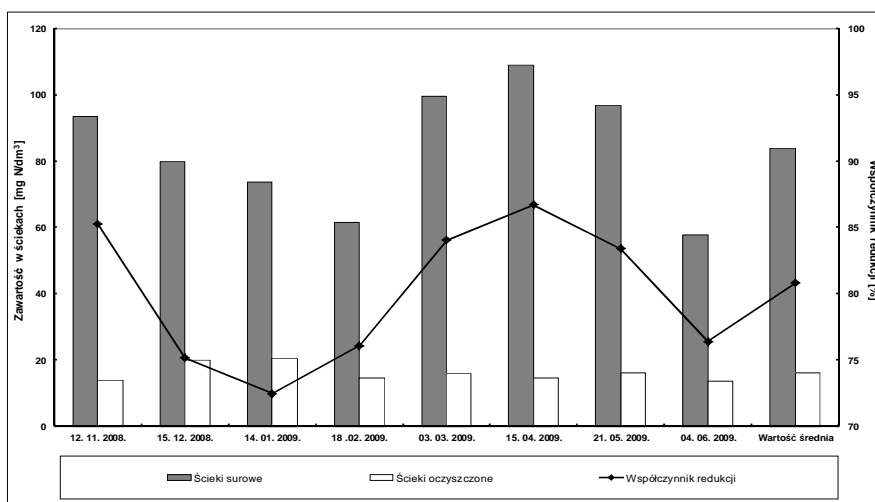
Rys. 4. Zawartość fosforanów w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych oraz współczynniki redukcji

Z wykresów wynika, iż dla wszystkich badanych parametrów osiągnęte są wysokie współczynniki redukcji, a wartości średnie współczynników redukcji wynoszą: dla BZT₅ - 97,7%, ChZT - 91,0%, zawiesina ogólna - 97,9%, fosforany - 99,4%, azot amonowy - 89,9%, azot ogólny - 80,8%. Jednocześnie zauważyć należy, że w przypadku ChZT, azotu amonowego i azotu ogólnego w badanym okresie obserwuje się duże wahania wartości współczynników redukcji. W przypadku form azotu sytuacja ta spowodowana jest prawdopodobnie niewystarczającą stabilnością przemian związków tego pierwiastka w oczyszczalni, co może być uwarunkowane

np. zmiennym wpływem pór roku i związanymi z nimi warunkami pogodowymi na proces oczyszczania. Wahania przyczyniły się także do obniżenia średnich wartości współczynników redukcji względem tych, które można by osiągnąć, gdyby ten wpływ wyeliminować. Co ciekawe, najniższe wydajności odnotowano w sytuacjach niskich stężeń tych parametrów. Może to świadczyć o inhibitującym wpływie innych, niemonitorowanych zanieczyszczeń (np. metali ciężkich) na wydajność procesu.



Rys. 5. Zawartość azotu amonowego w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych oraz współczynniki redukcji



Rys. 6. Zawartość azotu ogólnego w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych oraz współczynniki redukcji

Przeprowadzono zarówno analizy wyżej wymienionych parametrów, jak również azotu azotanowego(III), azotu azotanowego(V), chlorków i pH, w próbkach wody w strudze Kicz powyżej i poniżej ujścia ścieków oczyszczonych. Klasyfikację do odpowiednich klas jakości wody, o ile nie zaznaczono inaczej, oparto na rozporządzeniu ministra środowiska z 20.08.2008 r. [8].

Średnia wartość wskaźnika ChZT wyznaczona w okresie badawczym w wodzie powyżej ujścia ścieków wynosi $34,4 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, poniżej ujścia $36,4 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ (jakość gorsza niż II klasa jakości). Średnia wartość ChZT dla ścieków oczyszczonych wynosi $53,1 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$.

Na podstawie wyników uzyskanych dla BZT₅, które wynoszą odpowiednio: średnia wartość wskaźnika BZT₅ w wodzie powyżej ujścia ścieków $3,8 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, poniżej ujścia $4,7 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, a ścieków oczyszczonych $7,0 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, wodę ze strugi powyżej i poniżej ujścia należy zakwalifikować do II klasy jakości.

Analizując zmierzone wartości pH, zauważa się nieznaczne różnice wartości pH w całym okresie badawczym. Średnia wartość pH w wodzie powyżej ujścia wynosi 8,0, poniżej ujścia 7,9, a ścieków oczyszczonych 7,4. Pod względem tego parametru woda w strudze odpowiada I klasie jakości.

Średnia zawartość azotu azotanowego(III) w wodzie przed wlotem ścieków oczyszczonych wynosi $0,019 \text{ mgNO}_2/\text{dm}^3$ - woda I klasy jakości, natomiast za wlotem ścieków - $0,347 \text{ mgNO}_2/\text{dm}^3$ - woda III klasy jakości zgodnie z klasyfikacją z rozporządzenia ministra środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. (obecnie parametr ten nie jest już wykorzystywany do określania klas jakości wody) [22]. Średnie stężenie azotanów(III) w ściekach oczyszczonych wynosi $0,193 \text{ mgNO}_2/\text{dm}^3$. Warto również podkreślić wartość maksymalną w strudze Kicz, która wystąpiła w kwietniu poniżej zrzutu ścieków i wyniosła $2,430 \text{ mgNO}_2/\text{dm}^3$. Na podstawie przeprowadzonych badań jednoznaczne wyjaśnienie tego faktu nie jest możliwe, można jedynie przypuszczać, że w czasie poprzedzającym pobranie próbki w miejscu poboru nastąpił okresowy deficyt tlenu rozpuszczonego, co zakłóciło naturalny proces nityfikacji zanieczyszczeń poniżej zrzutu ścieków z oczyszczalni. Świadczy o tym zmniejszona ilość azotu azotanowego(V) ($0,035 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$ przy średniej $2,45 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$) oraz podwyższony poziom amoniaku ($5,23 \text{ mgNH}_4/\text{dm}^3$ przy średniej $1,314 \text{ mgNH}_4/\text{dm}^3$) w tym miejscu.

Średnie stężenie azotu amonowego w wodzie powyżej ujścia ścieków wynosi $0,591 \text{ mgNH}_4/\text{dm}^3$, poniżej ujścia $1,314 \text{ mgNH}_4/\text{dm}^3$, a w ściekach oczyszczonych $6,24 \text{ mgNH}_4/\text{dm}^3$. Na podstawie powyższych danych wodę ze strugi Kicz należy zakwalifikować do I i II klasy jakości (odpowiednio powyżej i poniżej ujścia ścieków).

Pod względem zawartości azotu azotanowego(V) woda w Kiczy powyżej i poniżej ujścia ścieków zalicza się odpowiednio do I i II klasy jakości. Dopływ ścieków oczyszczonych o średniej zawartości tego związku $10,11 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$ powoduje znaczny wzrost stężenia azotanów(V) z $0,718 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$ (wartość średnia powyżej ujścia ścieków) do średniej zawartości $2,45 \text{ mgNO}_3/\text{dm}^3$ poniżej ujścia ścieków (przy maksymalnej zawartości azotanów(V) poniżej ujścia ścieków $6,88 \text{ mgNO}_3/\text{l}$). Wysoka zawartość azotu azotanowego(V) w ściekach odprowa-

dzanych z oczyszczalni świadczy o tym, iż proces denitryfikacji polegający na redukcji azotu, którego końcowym produktem jest azot gazowy, nie zachodzi efektywnie i prawidłowo.

Średnie stężenie fosforanów w wodzie z Kiczy powyżej ujścia ścieków wynosi $0,311 \text{ mgPO}_4/\text{dm}^3$ i kwalifikuje jej wody do II klasy jakości, a poniżej ujścia - $0,124 \text{ mgPO}_4/\text{dm}^3$ (wody I klasy jakości), zgodnie z klasyfikacją z rozporządzenia ministra środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. (obecnie parametr ten nie jest już wykorzystywany do określania klas jakości wody) [22]. Wspomnieć tu należy bardzo wysoki efekt oczyszczania ścieków uzyskany w oczyszczalni (wartość średnia stężenia fosforanów: $0,039 \text{ mgPO}_4/\text{dm}^3$). Warto też zauważyć, że w styczniu w strudze powyżej ujścia ścieków miał miejsce gwałtowny wzrost stężenia fosforu, który spowodowany był niską temperaturą wody $2,2^\circ\text{C}$ i związaną z tym małą asymilacją tego związku przez obecne w wodzie mikroorganizmy.

Średnia zawartość jonów chlorkowych w wodzie powierzchniowej przed wlotem ścieków z oczyszczalni wynosi $25,6 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$, za wlotem ścieków $52,1 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$, natomiast zawartość w ściekach odprowadzanych do strugi wynosi średnio $115,5 \text{ mgCl}/\text{dm}^3$. Oznacza to, iż stężenie chlorków w wodzie strugi wzrosło o 100%. Nie ma to jednak wpływu na klasyfikację jakości jej wody, ponieważ zarówno powyżej, jak i poniżej wlotu ścieków woda w strudze mieści się w I klasie jakości.

Pod względem zawartości zawiesiny ogólnej woda w strudze Kicz odpowiada I klasie jakości. Średnia zawartość powyżej ujścia wynosi $6,8 \text{ mg}/\text{dm}^3$, a poniżej $5,64 \text{ mg}/\text{dm}^3$, zaś w ściekach oczyszczonych - $3,73 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Analizując uzyskane wyniki badań, należy również podkreślić maksymalne stężenie zawiesiny w wodzie poniżej ujścia ścieków, które wyniosło $15,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$ i wystąpiło w grudniu 2008 r.

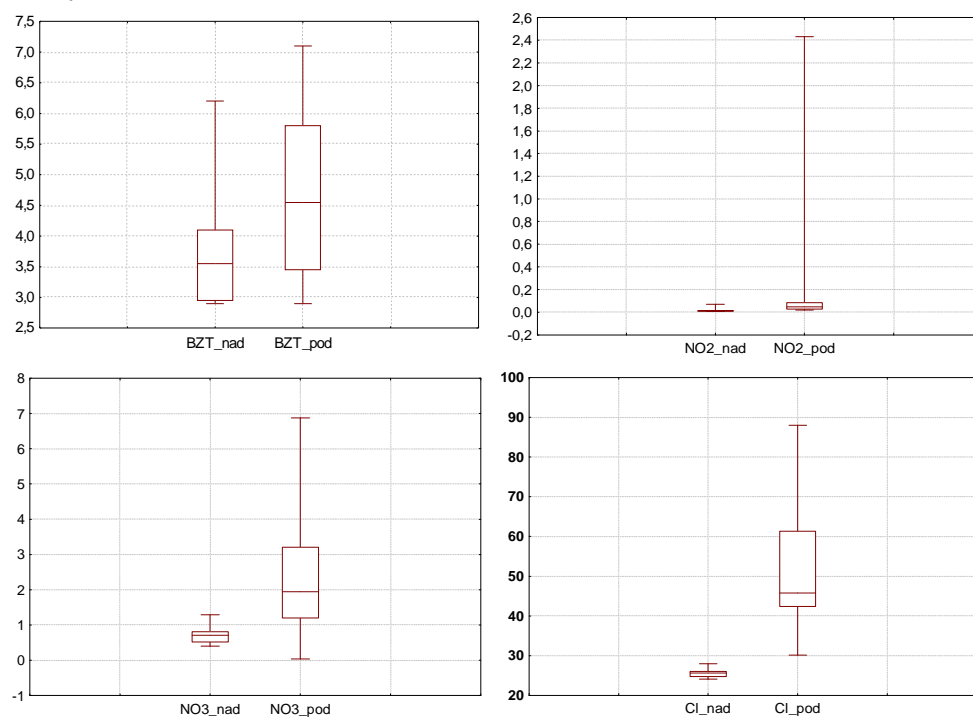
W celu określenia istotności różnic analizowanych parametrów w obu punktach pomiarowych zastosowano test Wilcozona. Wyniki testu, zebrane w tabeli 2, wskazują, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ różnice wykazywały następujące wskaźniki jakości wód: BZT₅, azotany(III) oraz (V), a także chlorki.

Tabela 2

Wyniki testu kolejności par Wilcozona

Parametr	T	Z	Poziom p
ChZT	15,0	0,420084	0,674424
BZT₅	3,5	2,030406	0,042316
pH	2,5	1,677256	0,093493
NO₂⁻	0,0	2,520504	0,011719
NH ₄ ⁺	6,0	1,680336	0,092893
NO₃⁻	4,0	1,960392	0,049951
PO ₄ ³⁻	14,0	0,560112	0,575403
Cl⁻	0,0	2,520504	0,011719
zawiesina	13,00	0,700140	0,483840

Poziomy wskaźników, różniących się istotnie, zostały przedstawione za pomocą wykresów ramka-wąsy (rys. 7). Linia w środku ramki reprezentuje medianę, szerokość ramki określona została poprzez kwartale, a wąsy to wartości minimalna oraz maksymalna.



Rys. 7. Wartości wskaźników jakości wody różniących się istotnie powyżej i poniżej ujścia ścieków na podstawie wyników testu par Wilcoxon

Na podstawie tabeli 2 i rysunku 7 można stwierdzić, iż zrzut ścieków oczyszczonych do strugi Kicz ma istotny wpływ na jakość wody w strudze jedynie w przypadku BZT₅, azotanów(III) i (V) oraz chlorków.

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych od listopada 2008 do czerwca 2009 r. stwierdzono w całym okresie badawczym wysoki efekt oczyszczania ścieków dopływających do Oczyszczalni Ścieków w Tucholi pod względem zawartości fosforanów, azotu amonowego, zawiesiny ogólnej oraz wskaźników BZT₅ i ChZT. Stężenie azotu ogólnego nieznacznie przekroczyło wymagania określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych

dla środowiska wodnego, co oznacza, iż procesy (nityfikacja i denityfikacja) odpowiedzialne za usuwanie tego związku nie zachodzą prawidłowo [23]. Może to być również spowodowane inhibitującym wpływem na wydajność procesu niemonitorowanych zanieczyszczeń (np. metali ciężkich).

Porównanie wyników analiz prób wody ze strugi Kicz powyżej i poniżej zrzutu oczyszczonych ścieków za pomocą nieparametrycznego testu kolejności par Wilcoxon'a pozwoliło stwierdzić, iż istotne pogorszenie się jakości wody w strudze występuje wyłącznie pod względem BZT₅, azotanów(III) i (V) oraz chlorków. Wartości innych badanych wskaźników jakości wody, tj.: pH, ChZT, azotu amonowego, fosforanów i zawiesiny ogólnej, nie różniły się istotnie w wodzie powyżej i poniżej zrzutu ścieków. Podkreślić należy, że części obserwacji dokonano w okresie zimowym, kiedy procesy samooczyszczania się wód są inhibitowane niskimi temperaturami.

Publikowane raporty o stanie wód oraz wyniki przeprowadzonych badań jakości wody w strudze Kicz wskazują, że jakość wód rzecznych jest nadal niezadowalająca, mimo iż z prezentowanych tu wyników badań wywnioskować należy, iż pod względem wartości pH oraz zawartości chlorków i zawiesiny ogólnej wody strugi Kicz klasyfikowane są jako wody bardzo dobrej jakości (klasa I jakości). Już jednak wartość BZT₅ klasyfikuje wody strugi Kicz w II klasie jakości, natomiast zawartość azotu azotanowego(V) oraz azotu amonowego - na pograniczu klas I/II. Szczególnie niezadowalająca jest jakość wody w strudze Kicz pod względem ChZT. Główną przyczyną takiego stanu jest ciągły brak dostatecznej ilości oczyszczalni, chemizacja rolnictwa, składowiska odpadów, a także zanieczyszczenie atmosfery. Uzyskanie poprawy czystości rzek można osiągnąć poprzez działalność gospodarczo-przestrzenną, polegającą na opracowaniu odpowiednich programów działania uzależnionych od warunków przyrodniczych i potrzeb gospodarki. Do realizacji takich programów niezbędne są nowe, spójne regulacje prawne w zakresie technologii, wprowadzenie nowych rozwiązań wodooszczędnych, produkcji bezściekowej i zmiana koncepcji zaopatrzenia w wodę.

Literatura

- [1] Pyłka-Gutowska E., Ekologia z ochroną środowiska, Wydawnictwo Oświata, Warszawa 2004.
- [2] Raport o stanie środowiska w Polsce 2008. Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2010, 58.
- [3] Chen J.S., He D.W., Zhang N., Cui S.B., Characteristics of and human influences on nitrogen contamination in Yellow River System, China, *Environmental Monitoring and Assessment* 2004, 93, 125-138.
- [4] Scanes P.R., Philip N., Environmental impact of deepwater discharge of sewage of Sydney, NSW, Australia, *Marine Pollution Bulletin* 1995, 31, 4-12, 343-346.
- [5] Elhatip H., Güllü Ö., Influences of wastewater discharges on the water quality of Mamasin dam watershed in Aksaray, Central Anatolian part of Turkey, *Environ. Geol.* 2005, 48, 829-834.
- [6] Kowalkowski T., Buszewski B., Emission of nitrogen and phosphorus in Polish rivers. Past, present and future trends in Vistula river catchment, *Environ. Eng. Sci.* 2006, 23(4), 615-622.

- [7] Andruliewicz E., An overview on lagoons in the Polish coastal area of the Baltic Sea, *International Journal of Salt Lake Research* 1997, 6, 121-134.
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, DzU Nr 162, poz. 1008.
- [9] Polityka ekologiczna państwa w latach 2009-2012 z perspektywą do roku 2016, Ministerstwo Ochrony Środowiska, Warszawa 2008.
- [10] Ławrynowicz M., Różga B., Tucholski Park Krajobrazowy 1985-2000: stan poznania, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2002.
- [11] PN-74/C-04578.03 Woda i ścieki - Badania zapotrzebowania tlenu i zawartości węgla organicznego - Oznaczanie chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) metodą dwuchromianową.
- [12] PN-EN 1899-1:2002 Jakość wody - Oznaczanie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n dniach (BZTn) - Część 1: Metoda rozcieńczania i szczepienia z dodatkiem allilotiomicznika.
- [13] PN-EN 872:2002 Jakość wody. Oznaczanie zawiesin. Metoda z zastosowaniem filtracji przez sączki z włókna szklanego.
- [14] PN-ISO 7150-1:2002 Jakość wody - Oznaczanie azotu amonowego - Część 1: Manualna metoda spektrometryczna.
- [15] PN-ISO 5664:2002 Jakość wody - Oznaczanie azotu amonowego - Metoda destylacyjna z miareczkowaniem.
- [16] PN-EN 25663:2001 Jakość wody - Oznaczanie azotu Kjeldahla - Metoda po mineralizacji z selenem.
- [17] PN-EN 26777:1999 Jakość wody - Oznaczanie azotynów - Metoda absorpcyjnej spektrometrii cząsteczkowej.
- [18] PN-82/C-04576.08 Woda i ścieki - Badania zawartości związków azotu - Oznaczanie azotu azotanowego metodą kolorymetryczną z salicylanem sodowym.
- [19] PN-EN ISO 6878: 2006 Jakość wody - Oznaczanie fosforu - Metoda spektrometryczna z molibdenianem amonu.
- [20] PN-ISO 9297:1994 Jakość wody - Oznaczanie chlorków - Metoda miareczkowania azotanem srebra w obecności chromianu jako wskaźnika (Metoda Mohra).
- [21] PN-90/C-04540.01 Woda i ścieki - Badania pH, kwasowości i zasadowości - Oznaczanie pH wód i ścieków o przewodności elektrolitycznej właściwej 10 mikrosimensów/cm i powyżej metodą elektrometryczną.
- [22] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód, DzU Nr 32, poz. 284.
- [23] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, DzU Nr 137, poz. 984.

The Influence of Treated Sewage Discharged from Wastewater Treatment Plant in Tuchola on Water Quality of Kicz Stream

Tuchola (14,000 inhabitants) is the biggest town in Bory Tucholskie - one of the largest pine forest complex in Poland, which is at the same time a part of Natura 2000. There are 4 natural landscape parks and 17 nature reserves in Bory Tucholskie. Until 1992 untreated sewage from Tuchola was discharged to Kicz stream (within Brda catchment), thus the values of water quality indicators in the stream significantly exceeded the national requirements (among others BOD₅, phosphates, total phosphorus, total suspended solids, bacteriological indices). In 1992 a Wastewater Treatment Plant (WWTP) in Tuchola was built, which

was in accordance with ecological politics of Poland, aiming among others at enhancing water quality. WWTP in Tuchola is of mechanical-biological type with enhanced removal of biogenic compounds and it collects sewage from Tuchola town and commune areas, and from Cekcyn and Kęsowo communes. Despite the fact that since 1992 water quality in Kicz and Brda has significantly increased, in 2000 the values of some water quality indicators were still too high. The aim of the research was to analyze the influence of treated sewage discharged from WWTP in Tuchola to Kicz stream on the stream water quality. The efficiency of wastewater treatment process in WWTP in Tuchola was also evaluated, and water in Kicz stream was classified as adequate quality class. In the period from November 2008 to June 2009 once a month samples of surface water from Kicz stream above and below sewage outlet were taken, as well as samples of untreated and treated sewage from WWTP in Tuchola. On the same day, the samples were analyzed for various water quality indices, i.e. COD, BOD₅, ammonium nitrogen, nitrates(V) and (III), total Kjeldahl nitrogen, orthophosphates, chlorides, total suspended solids and pH. Based on calculated reduction coefficients it was found that in case of BOD₅, COD, total suspended solids, phosphates, ammonium nitrogen and total nitrogen the efficiency of WWTP work is high. However the total nitrogen concentration in treated sewage was slightly above the values required. By comparing the results of analyzes of water samples from Kicz stream above and below the treated sewage outlet with the use of non-parametric Wilcoxon signed-rank paired test, it was found that the water quality is significantly worse below the sewage outlet in case of BOD₅, nitrates(III) and (V), and chlorides. Values of pH, COD, ammonium nitrogen, phosphates and total suspended solids did not differ significantly in water above and below the sewage outlet. The obtained results of water analyzes in Kicz stream indicate that in case of COD the water quality is poor. BOD₅ value corresponds to II quality class, whereas the concentration of nitrates(V) and ammonium nitrogen - water on the border of I/II class. With respect to pH, chlorides and total suspended solids water of Kicz stream is of very good quality (I class). Thus, in spite of significant increase in water quality of Kicz stream after the rise of WWTP, activities are still needed to ensure more efficient work of WWTP.

Keywords: water pollution, inorganic ions analysis, wastewater treatment plant, statistic analysis