

JOANNA JORDANOWSKA¹, MONIKA JAKUBUS²

¹Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. we Wrześni

²Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gruntów
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

ŁADUNKI ZANIECZYSZCZEŃ ORAZ EFEKTYWNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH Z REJONU WRZEŚNIA NA PRZESTRZENI LAT

CONTAMINANT AMOUNTS AND EFFECTIVENESS OF SEWAGE TREATMENT
FROM REGION OF WRZEŚNIA WITHIN THE COMPASS OF YEARS

Streszczenie. Celem badań było określenie ładunku zanieczyszczeń w komunalnych ściekach oraz efektywności ich oczyszczania przez mechaniczno-biologiczną oczyszczalnię ścieków mieszczącą się we Wrześni w województwie wielkopolskim. Oceny dokonano na podstawie danych z 11 lat (2001-2011) pracy tej oczyszczalni. Analizie podlegały następujące wskaźniki zanieczyszczeń: biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT₅), zawiesiny ogólne, azot całkowity, azot amonowy, azot azotanowy, fosfor ogólny. Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono, że w latach badań w ściekach poziom większości zanieczyszczeń podlegał wzrostowi. Szczególnie dotyczyło to zawiesin ogólnych, BZT₅, amoniaku oraz fosforu ogólnego. Niezależnie od takich tendencji efektywność oczyszczania ścieków w badanym okresie była zadowalająca. Współczynniki redukcji zanieczyszczeń uśrednione dla lat badań 2001-2011 wynosiły: dla zawiesin ogólnych – 94%, dla BZT₅ – 99%, dla azotu całkowitego – 84%, dla azotu amonowego – 99% oraz fosforu ogólnego – 86%. Ponadto wykazano, że całkowita zawartość azotu w ściekach oczyszczonych była determinowana ilością azotanów w tych ściekach, natomiast w ściekach surowych stężenie tego parametru zależało od koncentracji azotu amonowego.

Słowa kluczowe: ścieki komunalne, efekt oczyszczania, ładunek zanieczyszczeń

Wstęp

Na przestrzeni lat obserwowany jest stopniowy wzrost ilości produkowanych ścieków. Jest to związane ze zwiększającą się liczbą użytkowników sieci, ta z kolei jest

wynikiem realizacji programu rozbudowy. O takiej tendencji świadczą dane GUS (INFRASTRUKTURA... 2012) oraz „Aktualizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych z dnia 2 marca 2010 r.” (Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej 2010). Według tego ostatniego dokumentu do 2015 roku w kraju ma nastąpić:

- budowa 30 641 km sieci kanalizacyjnej,
- modernizacja lub rozbudowa 569 oczyszczalni ścieków,
- budowa 177 nowych oczyszczalni.

Z kolei z danych GUS (INFRASTRUKTURA... 2012) wynika, że długość sieci kanalizacyjnej w Polsce w 2011 roku wynosiła prawie 118 tys. km i zwiększyła się w stosunku do roku poprzedniego o ponad 9%, co odpowiada 10 tys. km. Jednocześnie w ciągu 2011 roku na terenach wiejskich przybyło prawie 8 tys. km nowej sieci, a w miastach ponad 2 tys. km, co odpowiednio stanowiło 14% i 4% wzrostu w porównaniu z rokiem 2010.

Ogółem w 2011 roku zostało zebranych o 1% więcej nieczystości ciekłych w stosunku do roku 2010, przy czym 65,2% ścieków pochodziło z gospodarstw domowych, 26,5% z budynków jednostek prowadzących działalność gospodarczą, a pozostałe 8,3% z budynków użyteczności publicznej (INFRASTRUKTURA... 2012). Akty prawne (USTAWA... 2006, 2012) precyzują następujące rodzaje ścieków:

- bytowe, pochodzące z budynków przeznaczonych na pobyt ludzi, z osiedli mieszkaniowych i terenów usługowych, powstające w szczególności w wyniku ludzkiego metabolizmu oraz funkcjonowania gospodarstw domowych,
- przemysłowe, powstałe w związku z prowadzoną przez zakład działalnością handlową, przemysłową, składową, transportową lub usługową, a także będące ich mieszaniną ze ściekami innego podmiotu, odprowadzane urządzeniami kanalizacyjnymi tego zakładu,
- opadowe lub roztopowe, ujęte w systemy kanalizacyjne pochodzące z terenów zanieczyszczonych, w tym z centrów miast, terenów przemysłowych, składowych, baz transportowych i dróg o dużym natężeniu ruchu wraz z parkingami.

Jednocześnie, zgodnie z ustawą Prawo wodne (USTAWA... 2012), ścieki bytowe lub ich mieszanina ze ściekami innego rodzaju w zbiorowym systemie kanalizacyjnym to ścieki komunalne.

Ścieki komunalne dopływające do oczyszczalni ścieków charakteryzują się wysoce nierównomiernym składem ilościowym i jakościowym. Wielkość natężenia dopływu ścieków do oczyszczalni wykazuje zmienność, która jest związana z działalnością człowieka oraz wielkością aglomeracji obsługiwanej przez oczyszczalnię (CHUCHRO i PIÓRKOWSKI 2010). Różnorodność zmian zachodzących w jakości i objętości ścieków dopływających do oczyszczalni utrudnia nam ich scharakteryzowanie. Dokładne pomiary ilości ścieków oraz szczegółowa analiza stężeń zanieczyszczeń umożliwiają wyznaczenie miarodajnego ładunku zanieczyszczeń ścieków surowych i oczyszczonych trafiających do odbiornika.

Największe dopuszczalne wartości zanieczyszczeń oraz warunki, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, określa rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku (ROZPORZĄDZENIE... 2006). Ciągły wzrost wymagań dotyczących jakości ścieków doprowadzanych do odbiornika, a także potrzeba

stosowania technologii o wysokim stopniu niezawodności, pociągają za sobą konieczność rozwoju zaawansowanych technik pomiarów i archiwizacji danych. Monitoring ładunku zanieczyszczeń w ściekach odgrywa zatem istotną rolę nie tylko w ocenie ich jakości i ilości, lecz także w zabezpieczeniu sieci kanalizacyjnej przed korozyjnymi właściwościami ścieków. Właściwości korozyjne są wynikiem obecności siarkowodoru, który wydziela się ze ścieków wskutek rozkładu białek. W warunkach beztlenowych siarkowodor reaguje ze związkami żelaza, tworząc czarny osad siarczku żelaza z jednoczesnym uwolnieniem jonów wodorowych. Jony wodorowe zakwaszają środowisko wodne i wykazują właściwości korozyjne, które stanowią problem dla eksploatorów oczyszczalni ścieków (BŁĄŻEJEWSKI 2008).

Celem niniejszej pracy było określenie poziomu zanieczyszczeń w ściekach komunalnych oraz efektywności ich oczyszczania przez mechaniczno-biologiczną oczyszczalnię ścieków we Wrześni.

Obiekt i metody badań

Obiekt

Przedmiotem badań były ścieki komunalne oczyszczane przez mechaniczno-biologiczną oczyszczalnię ścieków mieszcząca się we Wrześni (52,320°N i 17,579°E). Miasto to znajduje się w środkowowschodniej części województwa wielkopolskiego, 50 km na wschód od Poznania.

Ścieki komunalne z gospodarstw domowych podłączonych do sieci kanalizacji sanitarnej trafiają do miejskiej oczyszczalni ścieków zlokalizowanej przy ul. gen. Sikorskiego we Wrześni, zarządzanej przez Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o.

Rozruch oczyszczalni ścieków nastąpił w listopadzie 1997 roku. Jej przewidywana docelowa przepustowość to 10 tys. m³ ścieków na dobę. Obecnie pracuje ona z obciążeniem około 60-70%, oczyszczając w ciągu doby około 6-7 tys. m³ ścieków. Wynika to z pozostawionej niezbędnej rezerwy dla podłączenia nowych osiedli czy pobliskich wsi.

Prezentowana oczyszczalnia ma dwa ciągi technologiczne, na które składają się: sitopiaskowniki, osadnik wstępny, reaktory biologiczne, osadniki wtórne, pompownie recyrkulacji osadu, otwarte komory fermentacyjne oraz stacja mechanicznego zagęszczenia i odwadniania osadów.

Po pełnym mechaniczno-biologicznym oczyszczeniu ścieki są odprowadzane korytem odpływowym przez rów melioracyjny do rzeki Wrześnicy (DEMBSKA i IN. 2010).

Do badań wykorzystano ścieki:

- surowe, pobierane na wlocie do oczyszczalni ścieków (w budynku sitopiaskowników oraz z osadnika wstępnego),
- oczyszczone, pobierane z koryta odpływowego na wylocie oczyszczalni ścieków.

Metody

Analizy fizyczno-chemiczne zostały wykonane w Laboratorium Analiz Wody i Ścieków Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. we Wrześni, mieszczącym się na terenie oczyszczalni ścieków. Laboratorium w 2008 roku uzyskało akredytację Polskiego Centrum Akredytacji – certyfikat nr AB 984, co oznacza, że stosowany jest w nim system zarządzania zgodny z wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025: 2005 Ap 1: 2007. Akredytacja upoważnia do pobierania próbek ścieków i wykonywania analiz ścieków zgodnie z wymaganiami określonymi w artykule 147a ustawy Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 roku (USTAWA... 2008).

Oceny składu ścieków surowych i oczyszczonych dokonano zgodnie z normą PN-ISO 5667-10: 1997, rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku (ROZPORZĄDZENIE... 2006) oraz POZWOLENIEM WODNOPRAWNYM... (2004).

Ścieki surowe i oczyszczone pobierano automatycznie w stacjach pobierania próbek cieczy, ścieki surowe – za pomocą urządzenia firmy Edmund Büchler GMBH & CO, ścieki oczyszczone – za pomocą urządzeń firmy Edmund Büchler GMBH & CO (lata 2001-2010) oraz Endress+Hauser (rok 2011).

W ustalonych terminach, co godzinę w ciągu doby, stacjonarne stacje pobierały 24 próbki ścieków surowych i oczyszczonych. Następnie próbki były dozowane do pojemników i przechowywane w stanie schłodzonym. Probki jednorazowe mieszano, uzyskując próbkę zbiorczą – średnią dobową (ROZPORZĄDZENIE... 2006).

Zakres oznaczeń analitycznych obejmował następujące parametry:

- biochemiczne zapotrzebowanie na tlen BZT₅, zgodnie z normami: PN-EN 1899-1: 2002, PN-EN 1899-2: 2002,
- zawiesiny ogólne, zgodnie z normą PN-EN 872:2007/Ap1: 2007,
- azot całkowity, zgodnie z procedurą badawczą opartą na teście firmy Merck, numer katalogowy: 1.09713.0001,
- azot amonowy, zgodnie z procedurą badawczą opartą na testach firmy Merck, numer katalogowy: 1.14752.0001, 1.14559.0001,
- azot azotanowy, zgodnie z procedurą badawczą opartą na teście firmy Merck, numer katalogowy: 1.09713.0001,
- fosfor ogólny, zgodnie z procedurą badawczą opartą na teście firmy Merck, numer katalogowy: 1.14848.0001.

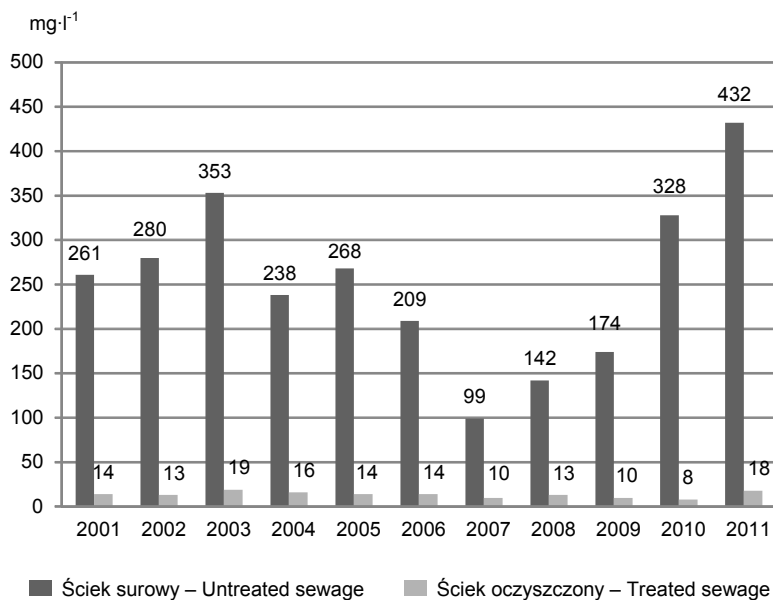
Wyniki i dyskusja

Zmiana struktury zużycia wody w mieście, a w związku z tym także parametrów jakościowych ścieków, spowodowała, że obecnie oczyszczalnie pracują przy znacznie mniejszym obciążeniu hydraulicznym, z jednocześnie większym ładunkiem zanieczyszczeń (ROSTKOWSKA i SIEDLECKA 1999).

Ścieki zawierają zanieczyszczenia chemiczne (rozpuszczone związki organiczne i nieorganiczne), fizyczne (zawiesiny) oraz biologiczne (mikroorganizmy należące w większości do flory bakteryjnej żyjącej w przewodzie pokarmowym człowieka i zwierząt). Zanieczyszczenia chemiczne tworzą substancje rozpuszczone w ściekach. Ogólnie dzieli się je na substancje organiczne, związki nieorganiczne oraz gazy. Sub-

stancje organiczne stanowią około 75% zawiesin i około 40% związków rozpuszczonych. Związki nieorganiczne to głównie rozpuszczone sole. Do najważniejszych gazów rozpuszczonych w ściekach, decydujących o stopniu ich zanieczyszczenia, należą tlen, dwutlenek węgla, amoniak oraz siarkowodór (DYMACZEWSKI i IN. 1997, ŁOMOTOWSKI i SZPINDOR 2002). Wskaźnikami zanieczyszczeń chemicznych oraz fizycznych są głównie: azot ogólny, fosfor ogólny, ChZT, BZT₅ oraz zawiesiny ogólne.

Zawartość zawiesin ogólnych jest ważnym wskaźnikiem oceny jakości wody oraz określenia wpływu ścieków na wody odbiorników naturalnych. Jak wynika z danych zamieszczonych na rysunku 1, poziom zawiesin ogólnych w ściekach surowych mieścił się w przedziale od 99 do 432 mg·l⁻¹, co stanowiło czterokrotną różnicę. Odnotować należy, że do 2007 roku ścieki charakteryzowały się podobnym stopniem obciążenia zawiesinami ogólnymi. Tendencję wzrostową omawianego parametru pokazały wyniki uzyskane w latach 2008-2011. Niezależnie od tego, średnia zawartość zawiesin ogólnych w ściekach surowych (253 mg·l⁻¹) dla okresu badań była mniejsza od określonej dla ścieków komunalnych w kraju przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (AKTUALIZACJA... 2010), a wynoszącej 395 mg·l⁻¹.



Rys. 1. Średnie roczne zawartości zawiesin ogólnych w ściekach surowych i oczyszczonych w latach 2001-2011

Fig. 1. Average annual contents of suspended solids in untreated and treated sewage in 2001-2011

W rozpatrywanym okresie (lata 2001-2011) nie doszło do przekroczenia wymaganej pozwoleniem wodnoprawnym ilości zawiesin ogólnych w ściekach oczyszczonych: wynosiła ona od 8 do 19 mg·l⁻¹, średnio 14 mg·l⁻¹. Zgodnie z obowiązującym POZWOLENIEM WODNOPRAWNYM... (2004) w opisywanej oczyszczalni ścieków zawartość za-

wiesin ogólnych w ściekach odprowadzanych do odbiornika nie powinna przekroczyć $35 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

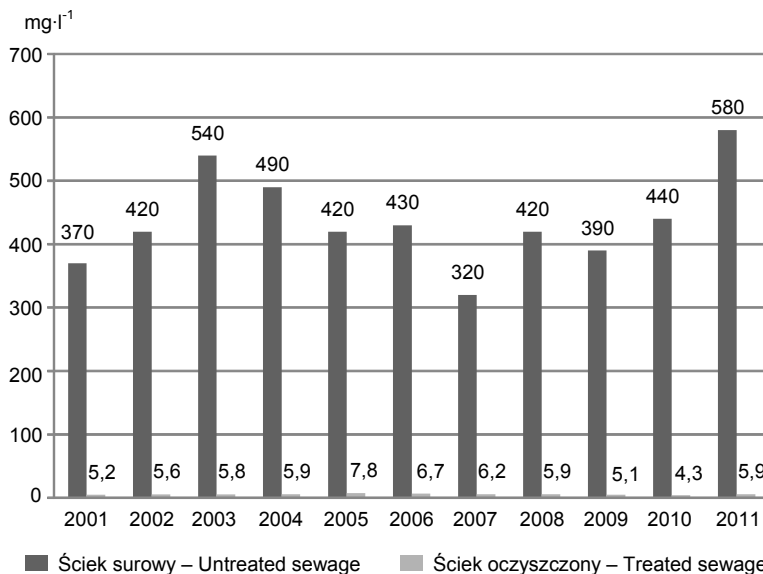
W 2003 roku zaobserwowano wzrost zawartości zawiesin ogólnych w ściekach oczyszczonych do wartości około $19 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, co korelowało z większymi ilościami zawiesin w ściekach surowych (rys. 1). Ścieki oczyszczone w latach 2005-2009 charakteryzowały się zbliżonym ładunkiem zawiesin ogólnych, w zakresie od 10 do $14 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. W roku 2010 stężenie zawiesin ogólnych było najmniejsze i wynosiło $8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. W porównaniu ze wspomnianą wartością w 2011 roku w ściekach oczyszczonych stwierdzono ponad dwa razy większe stężenie zawiesin ogólnych. Zjawisko to należy uznać za niepożądane, ponieważ zwiększone ilości zawiesin w ściekach oczyszczonych, a w konsekwencji w wodach powierzchniowych, powodują odkładanie się na dnie odbiornika nadmiernych ilości osadów dennych, co prowadzi do reakcji beztlenowego rozkładu zanieczyszczeń i niekiedy do całkowitego zahamowania procesów samooczyszczania (GAJKOWSKA-STEFAŃSKA i IN. 2007). Ponadto, jak podają KOZŁOWSKI i IN. (2006), sedimentujące cząstki zawiesin powodują wypływanie zbiorników wodnych.

W ocenie efektywnej pracy oczyszczalni ścieków istotnym elementem jest stopień redukcji zanieczyszczeń. W przypadku zawiesin ogólnych był on zadowalający: wynosił od 90% (w 2007 roku) do 98% (w 2010 roku) (rys. 1).

Powszechnie stosowanym w monitoringu stopnia zanieczyszczenia ścieków komunalnych wskaźnikiem jest parametr BZT_5 . Według GAJKOWSKIEJ-STEFAŃSKIEJ i IN. (2007) wyraża on zdolność mikroorganizmów do rozkładu substancji organicznych w warunkach tlenowych podczas 5 dni, gdy najintensywniej zachodzą procesy biochemiczne. Zawartość BZT_5 w ściekach surowych dopływających do omawianej oczyszczalni ścieków komunalnych w latach 2001-2011 wynosiła od 320 do 580 mg O_2 w 1 l (rys. 2). Średnia dla badanego okresu wynosiła 440 mg O_2 w 1 l i była wartością nieznacznie większą od przeciętnej zawartości BZT_5 w ściekach komunalnych w kraju szacowanej przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (AKTUALIZACJA... 2010) – 430 mg O_2 w 1 l. Poziom BZT_5 w ściekach surowych w latach badań był zmienny. Jak prezentuje rysunek 2, wartości omawianego parametru układały się w sinusoidalny sposób, przyjmując minimum w roku 2001 (370 mg O_2 w 1 l) oraz 2007 (320 mg O_2 w 1 l), maksimum zaś – w roku 2003 (540 mg O_2 w 1 l) oraz 2011 (580 mg O_2 w 1 l). Odnotowana tendencja świadczy o dopływie ścieków coraz bardziej obciążonych ładunkiem zanieczyszczeń organicznych. Z badań ROSTKOWSKIEJ i SIEDLECKIEJ (1999) wynika, że powodem tego mogą być wzmożone dowozy ścieków wozami asenizacyjnymi. Ścieki takie są zagięte i niosą ze sobą znaczny ładunek związków organicznych.

Na bardziej wyrównany poziom ilościowy BZT_5 wskazują dane zestawione dla ścieków oczyszczonych. Poza wartością $4,3 \text{ mg O}_2$ w 1 l stwierdzoną w 2010 roku ścieki z pozostałych lat badań odznaczały się większymi wartościami omawianego parametru – na poziomie od 5,2 do $7,8 \text{ mg O}_2$ w 1 l (rys. 2). Średnia dla lat badań zawartość BZT_5 w ściekach oczyszczonych wynosiła 6 mg O_2 w 1 l, co – w świetle wymaganej POZWOLENIEM WODNOPRAWNYM... (2004) dla omawianej oczyszczalni ścieków komunalnych wartości 15 mg O_2 w 1 l – należy uznać za poziom bardzo niski. Świadczy to też o dużej efektywności oczyszczania ścieków, która w latach badań była zbliżona i wynosiła średnio 99% (rys. 2).

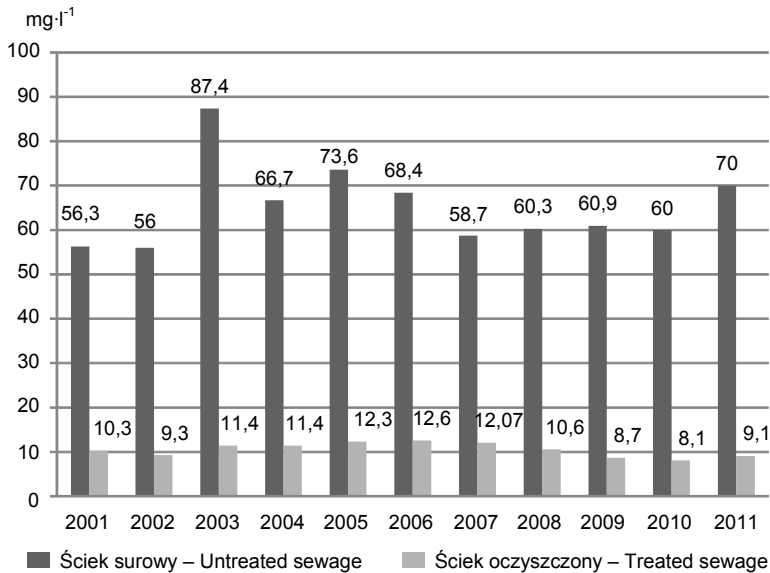
Azot należy do pierwiastków biogenych, który podobnie jak fosfor przyczynia się do eutrofizacji zbiorników wodnych. W ściekach występuje on w postaci nieorganicznej:



Rys. 2. Średnie roczne zawartości BZT₅ w ściekach surowych i oczyszczonych w latach 2001-2011

Fig. 2. Average annual contents of 5-day BOD in untreated and treated sewage in 2001-2011

NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- oraz organicznej, jako mocznik, kwas moczowy i aminokwasy. Podczas oczyszczania ścieków związki azotu przechodzą szereg przemian biochemicznych. Procesy te mają skomplikowany przebieg i wiążą się z pozyskiwaniem azotu do syntezy strukturalnej (wiązanie azotu i asymilacja) oraz reakcji energetycznych (nityfikacja i denityfikacja). W wyniku przemian biochemicznych wprowadzony ze ściekami azot może zostać przekształcony w inną formę lub być z nich całkowicie usunięty. Jak podają HERMANOWICZ i IN. (1999), azot ogólny oznaczany w ściekach stanowi sumę azotu organicznego, amonowego, azotanowego V i III. Jak wynika z danych rysunku 3, zawartość azotu ogólnego w ściekach dopływających do oczyszczalni w badanym okresie zawierała się w przedziale od 56,0 do 87,4 mg N- NO_3 w 1 l, średnio 65,3 N- NO_3 w 1 l, co w porównaniu z danymi Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (AKTUALIZACJA... 2010) określającymi przeciętne stężenie azotu całkowitego w ściekach komunalnych w kraju na 95 mg N- NO_3 w 1 l uznać należy za małe. Jednocześnie, poza latami 2003, 2005 oraz 2011, ścieki surowe odznaczały się wyrównanym poziomem azotu całkowitego – w zakresie od 56 do 68,4 mg N- NO_3 w 1 l. Wzrostowi zawartości azotu całkowitego w ściekach surowych na ogół towarzyszyło zwiększenie ilości tego składnika w ściekach oczyszczonych, choć nie było to regułą. Świadczą o tym dane zestawione dla roku 2007 oraz 2011 (rys. 3). Niezależnie od tego, zawartość azotu ogólnego na odpływie utrzymywała się w zakresie od 8,1 do 12,6 mg N- NO_3 w 1 l, średnio dla lat badań 10,4 mg N- NO_3 w 1 l. W odniesieniu do dopuszczalnej pozwoleniem wodnoprawnym ilości azotu całkowitego (15 mg N- NO_3 w 1 l) powyższe wartości należy



Rys. 3. Średnie roczne zawartości azotu całkowitego w ściekach surowych i oczyszczonych w latach 2001-2011

Fig. 3. Average annual contents of total nitrogen in untreated and treated sewage in 2001-2011

uznać za korzystne, tym bardziej, że dane na rysunku 3 świadczą o redukcji azotu całkowitego na średnim poziomie 84%.

W okresie badań, podobnie jak w badaniach LEWANDOWSKIEJ-ROBAK i IN. (2011), wystąpiły zmiany wartości współczynnika redukcji azotu (od 79 do 87%). Sytuacja taka była spowodowana niewystarczającą stabilnością przemian związków azotu w oczyszczalni, na co m.in. wpływały warunki pogodowe. W okresach zimowych, gdy temperatura ścieków w komorach napowietrzania spadała poniżej 6°C, dochodziło do zmniejszenia szybkości procesu nityfikacji i wzrostu stężenia azotu amonowego, a w konsekwencji azotu całkowitego. Zakłócenia pracy oczyszczalni trwały wówczas od jednego do dwóch miesięcy, po czym następowało ustabilizowanie i zmniejszenie wartości omawianych parametrów. Inną przyczyną zmian w redukcji azotu mógł być dodatkowy dopływ ścieków dowożonych do oczyszczalni wozami asenizacyjnymi. Efektem tego było przeciążenie bakterii osadu czynnego ładunkiem ścieków (w czasie zrzutu ścieków i przez kilka godzin po nim). Sytuacja taka destabilizowała osad, który nadmiernie przyrastał, był słabiej natleniony, co w konsekwencji prowadziło do zmniejszenia skuteczności oczyszczania ścieków.

Na redukcję azotu całkowitego składała się przede wszystkim bardzo duża redukcja azotu amonowego. Azot amonowy obecny w ściekach miejskich pochodzi najczęściej z biochemicznego rozkładu organicznych związków azotowych roślinnych lub zwierzęcych (GAJKOWSKA-STEFAŃSKA i IN. 2007). Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 1, udział azotu amonowego w azocie całkowitym w ściekach dopływających do oczyszczalni wynosił od 60 do 83%, średnio dla lat badań 72%. Znaczny udział azotu

Tabela 1. Średnia roczna zawartość amoniaku oraz jego udział w azocie całkowitym w ściekach surowych i oczyszczonych w latach 2001-2011

Table 1. Average annual content of ammonium and its share in total nitrogen in untreated and treated sewage in 2001-2011

Rok Year	Zawartość amoniaku (N-NH ₄) Ammonium (N-NH ₄) content (mg·l ⁻¹)		Udział amoniaku w azocie całkowitym Share of ammonium in total nitrogen (%)	
	ścieki surowe untreated sewage	ścieki oczyszczone treated sewage	ścieki surowe untreated sewage	ścieki oczyszczone treated sewage
2001	34	1,13	60	11,0
2002	34	0,35	60	3,8
2003	54	0,49	62	4,3
2004	49	0,36	73	3,2
2005	48	1,09	65	8,9
2006	51	0,47	75	3,7
2007	45	0,52	77	4,3
2008	49	1,19	81	11,0
2009	50	0,16	82	1,8
2010	46	0,20	77	2,5
2011	58	0,18	83	2,0

amonowego w azocie całkowitym w ściekach komunalnych jest pochodną stosunkowo dużej domieszki substancji odżywczych, którą w przeliczeniu na jednego mieszkańca ocenia się na blisko 20 g, przy czym dominuje w niej azot, stanowiąc aż 90% ogólnej ilości (SULIGOWSKI i TUSZYŃSKA 2008). Potwierdzają to badania BOJANOWSKIEJ i PEPLIŃSKIEGO (2002), którzy wykazali, że spadek ilości ścieków bytowo-gospodarczych, a tym samym zwiększenie udziału ścieków przemysłowych w ogólnej sumie ścieków surowych, spowodowały, że ładunki związków azotu zmalały. Zawartość amoniaku w ściekach surowych w latach 2001-2011 mieściła się w zakresie od 34 do 58 mg N-NH₄ w 1 l, średnio 44 mg N-NH₄ w 1 l (tab. 1). Odnotować należy, że poza rokiem 2001 i 2002 ścieki surowe były obciążone ładunkiem amoniaku na zbliżonym poziomie – od 46 do 58 mg N-NH₄ w 1 l. Jednocześnie należy podkreślić, że na przestrzeni lat nastąpił 70-procentowy wzrost ilościowy omawianego parametru (z 34 do 58 mg N-NH₄ w 1 l). Takiej tendencji nie odnotowano w odniesieniu do ilości amoniaku w ściekach oczyszczonych. Jak wskazują dane zamieszczone w tabeli 1, ilość amoniaku w ściekach z roku 2011 była o 84% mniejsza w porównaniu z wartością określoną w 2001 roku. Poziom omawianego parametru wynosił od 0,16 do 1,19 mg N-NH₄ w 1 l, ze średnią dla wielolecia 0,57 mg N-NH₄ w 1 l. Obecność amoniaku w dużych ilościach w ściekach z 2008 roku można tłumaczyć efektem braku dostatecznej ilości tlenu w ściekach z osadem czynnym w komorach napowietrzania. Mała zawartość tlenu przy jednocześnie dużej wartości BZT₅ mogła hamować proces nityfikacji. Jak podają PI-STELOK i IN. (2003), czynnikiem niekorzystnie wpływającym na przebieg procesu

oczyszczania są również niskie temperatury. Z obserwacji BOJANOWSKIEJ i PEPLIŃSKIEGO (2002) wynika, że niska temperatura ścieków sprzyja rozwojowi bakterii nitkowatych, które rozluźniają strukturę osadu czynnego, powodują wynoszenie drobnych kłaczków, a przez to pogarsza się jakość ścieków oczyszczonych. Odzwierciedleniem zaobserwowanych zmian ilości amoniaku w latach badań były procentowe udziały tej formy w azocie całkowitym w ściekach oczyszczonych. Udział ten zawierał się w przedziale od 2 do 11%, średnio dla lat badań wynosił 5% (tab. 1), co świadczy o dużej efektywności (rzędu 97-99%) oczyszczania azotu amonowego.

Na zawartość azotu całkowitego w ściekach surowych i oczyszczonych miała wpływ nie tylko zawartość azotu amonowego, lecz także zawartość azotu azotanowego. Stężenie azotanów w ściekach dopływających do oczyszczalni w całym okresie badawczym było mniejsze od stężenia azotanów na odpływie i utrzymywało się na poziomie od 1,0 do 4,8 mg N-NO₃ w 1 l, co stanowiło prawie pięciokrotną różnicę (tab. 2). Jednocześnie należy odnotować, że począwszy od 2005 roku ilość azotu azotanowego w ściekach surowych sukcesywnie się zmniejszała. W świetle doniesień KULIKOWSKIEJ i IN. (2009) zjawisko to należy uznać za niekorzystne, ponieważ zmniejszenie ładunku azotanów doprowadzanych do komory beztlenowej wpływa na pogorszenie sprawności denitryfikacji.

Tabela 2. Średnia roczna zawartość azotanów oraz ich udział w azocie całkowitym w ściekach surowych i oczyszczonych w latach 2001-2011

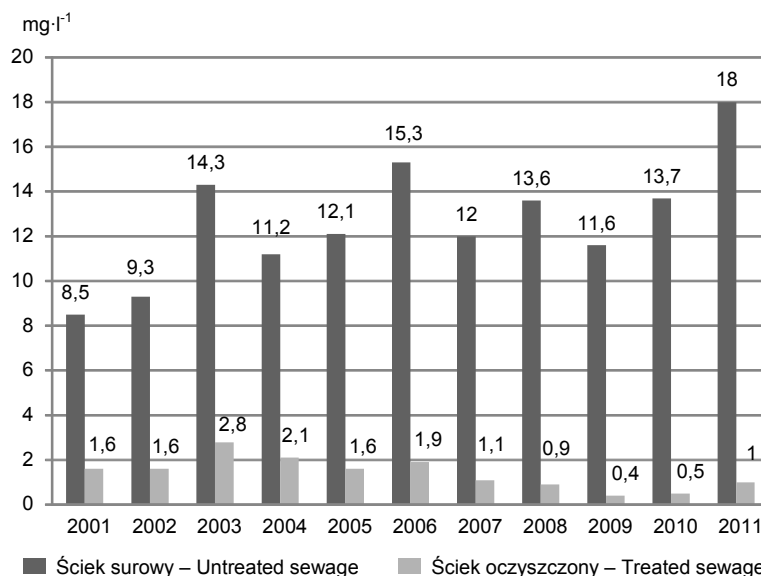
Table 2. Average annual content of nitrates and their share in total nitrogen in untreated and treated sewage in 2001-2011

Rok Year	Zawartość azotanów (N-NO ₃) Nitrates (N-NO ₃) content (mg·l ⁻¹)		Udział azotanów w azocie całkowitym Share of nitrates in total nitrogen (%)	
	ścieki surowe untreated sewage	ścieki oczyszczone treated sewage	ścieki surowe untreated sewage	ścieki oczyszczone treated sewage
2001	3,3	5,4	5,9	52
2002	3,5	5,8	6,2	62
2003	4,8	7,1	5,5	62
2004	3,4	6,2	5,1	54
2005	2,8	6,7	3,8	54
2006	1,8	6,3	2,6	50
2007	1,3	7,0	2,2	58
2008	2,3	6,8	3,8	64
2009	1,0	6,2	1,6	71
2010	1,3	5,7	2,2	70
2011	1,4	6,4	2,0	70

Procentowy udział formy azotanowej w azocie całkowitym w ściekach surowych średnio dla lat badań wynosił zaledwie 4%, mieścił się w zakresie od 1,6 do 6,2%, natomiast w ściekach oczyszczonych kształtowało się to na średnim poziomie 61% (od 50 do 71%) (tab. 2). Ilości azotanów w ściekach trafiających do odbiornika w latach badań były porównywalne i wynosiły od 5,4 do 7,1 mg N-NO₃ w 1 l, średnio 6,3 mg N-NO₃ w 1 l. Według GAJKOWSKIEJ-STEFAŃSKIEJ i IN. (2007) zwiększone ilości azotu azotanowego spotyka się w ściekach po biologicznym oczyszczaniu. Ponadto większa zawartość azotu azotanowego w ściekach odprowadzanych z oczyszczalni świadczy o tym, że proces denitryfikacji polegający na redukcji utlenionych form azotu, którego końcowym produktem jest azot gazowy, nie zachodzi efektywnie (LEWANDOWSKA-ROBAK i IN. 2011).

Efektywność oczyszczania ścieków komunalnych badanej oczyszczalni przeanalizowano również na podstawie zawartości związków fosforu. Związki fosforu zawarte w ściekach dzieli się na trzy główne grupy: ortofosforany, polifosforany i fosfor organicznie związany. Oznaczany w ściekach fosfor ogólny jest sumą trzech wymienionych form tego pierwiastka. Zdaniem HERMANOWICZA i IN. (1999) związki fosforu nie są toksyczne, lecz z uwagi na proces asymilacji fosforanów przez mikroorganizmy są czynnikiem powodującym eutrofizację zbiorników wodnych.

Jak wynika z danych przedstawionych na rysunku 4, zawartość fosforu ogólnego w ściekach surowych kształtowała się w zakresie od 8,5 do 18 mg P-PO₄ w 1 l, stanowiąc dwukrotną różnicę. W latach 2004-2010 ilości omawianego składnika w ściekach surowych były na zbliżonym poziomie: 11,2-13,7 mg P-PO₄ w 1 l. Wyjątek stanowił



Rys. 4. Średnie roczne zawartości fosforu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych w latach 2001-2011

Fig. 4. Average annual contents of total phosphorus in untreated and treated sewage in 2001-2011

rok 2006, w którym średnia roczna zawartość fosforu ogółem w ściekach surowych wynosiła 15,3 mg P-PO₄ w 1 l. Analiza danych na rysunku 4 dowodzi wzrostu koncentracji fosforu począwszy od 2009 roku. Zgodnie z danymi Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (AKTUALIZACJA... 2010) przeciętne stężenie fosforu ogólnego w ściekach komunalnych w kraju wynosiło 20 mg P-PO₄ w 1 l. Odnosząc do tej wartości wyniki z badań własnych, odnotować należy, że średnia z wielolecia (13 mg P-PO₄ w 1 l), jak i wyniki z roku 2010 (13,7 mg P-PO₄ w 1 l), były mniejsze.

Stężenie fosforu ogółem w ściekach oczyszczonych w latach badań było zmienne i wynosiło od 0,4 do 2,8 mg P-PO₄ w 1 l (rys. 4). Duże ilości omawianego składnika w ściekach oczyszczonych, zdaniem BOJANOWSKIEJ i PEPLIŃSKIEGO (2002), mogą wynikać z uwalniania fosforanów w osadniku wtórnym. Zgodnie z POZWOLENIEM WODNOPRAWNYM... (2004) dopuszczalna zawartość fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych nie powinna przekraczać 2,0 mg P-PO₄ w 1 l. Norma ta była spełniona dla ścieków oczyszczonych od 2005 roku, co wspomagało procesy biologiczne usuwania fosforu ze ścieków procesami chemicznymi, dzięki czemu stopień redukcji fosforu ogólnego w oczyszczanych ściekach w latach 2005-2011 był zadowalający i wynosił średnio 92%, a w okresie 2001-2004 – 81% (rys. 4).

Wnioski

1. W latach 2001-2011 do oczyszczalni ścieków zlokalizowanej we Wrześni dopływały ścieki o coraz większym obciążeniu ładunkiem zawiesin ogólnych, BZT₅, amoniaku oraz fosforu ogólnego.

2. Efektywność oczyszczania ścieków należy uznać za dużą, co miało swój wyraz w przestrzeganiu dopuszczalnych limitów dla zanieczyszczeń określonych pozwoleniem wodnoprawnym.

3. Największą skuteczność oczyszczania ścieków uzyskano w przypadku zawiesin ogólnych (94%) i BZT₅ (99%).

4. W zakresie eliminacji związków biogenych azot całkowity był usuwany z większą skutecznością niż fosfor ogólny.

5. Zawartość całkowita azotu w ściekach oczyszczonych była determinowana ilością azotanów w ściekach oczyszczonych, natomiast w ściekach surowych stężenie tego parametru zależało od koncentracji azotu amonowego.

Literatura

- AKTUALIZACJA Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych z dnia 2 marca 2010 roku. 2010. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa. [<http://kzgw.gov.pl>].
- BŁAŻEJEWSKI R., 2008. Substancje w ściekach bytowych szkodliwe dla mikroorganizmów i roślin. HABA RL, Grodzisk Wielkopolski. [<http://www.haba.pl>].
- BOJANOWSKA I., PEPLIŃSKI M., 2002. Optymalizacja pracy oczyszczalni ścieków w Tczewie w zakresie usuwania związków biogenych i związków węgla. *Ochr. Środ.* 86, 3: 31-36.

Jordanowska J., Jakubus M., 2013. Ładunki zanieczyszczeń oraz efektywność oczyszczania ścieków komunalnych z rejonu Września na przestrzeni lat. *Nauka Przyr. Technol.* 7, 3, #32.

- CHUCHRO M., PIÓRKOWSKI A., 2010. Wykorzystanie metod i narzędzi eksploracji danych do analizy zmienności natężenia dopływu do komunalnych oczyszczalni ścieków. *Stud. Inf.* 31, 2B: 347-358.
- DEMBSKA R., KASPERKOWIAK D., KARAŚ M., 2010. Aktualizacja Programu Ochrony Środowiska dla Miasta i Gminy Września na lata 2010-2013, z perspektywą na lata 2014-2017. Biuro Rzecznostwa i Ekonomii Środowiska CODEX, Środa Wielkopolska. [<http://www.umig-wrzesnia.home>].
- DYMACZEWSKI Z., OLESZKIEWICZ J.A., SOZAŃSKI M., 1997. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. *Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*, Poznań.
- GAJKOWSKA-STEFANŚKA L., GUBERSKI S., GUTOWSKI W., MAMAK Z., SZPERLIŃSKI Z., 2007. Laboratoryjne badania wody, ścieków i osadów ściekowych. Ofic. Wyd. PW, Warszawa.
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W., KOZIOROWSKI B., ZERBE B., 1999. Fizykochemiczne badanie wody i ścieków. *Arkady*, Warszawa.
- INFRASTRUKTURA komunalna w 2011 roku. 2012. GUS, Warszawa.
- KOZŁOWSKI J., NOCÓN W., KOSTECKI M., 2006. Charakterystyka hydrochemiczna rzeki Kłodnicy. *Ochr. Środ.* 28, 3: 40-44.
- KULIKOWSKA D., DRZEWICKI A., TOMCZYKOWSKA M., 2009. Intensyfikacja procesu denitryfikacji ścieków na przykładzie oczyszczalni w Tyrkowie. *Czas. Techn. Środ.* 106: 111-120.
- LEWANDOWSKA-ROBAK M., GÓRSKI Ł., KOWALKOWSKI T., DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., MIESIKOWSKA I., 2011. Wpływ ścieków oczyszczonych odprowadzanych z Oczyszczalni Ścieków w Tucholi na jakość wody w strudze Kicz. *Inż. Ochr. Środ.* 14, 3: 209-221.
- ŁOMOTOWSKI J., SZPINDOR A., 2002. Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. *Arkady*, Warszawa.
- PISTELOK F., WYPLER M., TOKARZ M., 2003. Wyniki działania zmodernizowanej oczyszczalni ścieków Halemba II w Rudzie Śląskiej. *Forum Eksploat.* 2, 03: 7-10.
- PN-EN 872:2007/Ap1:2007: Jakość wody; Oznaczanie zawiesin. Metoda z zastosowaniem filtracji przez sączki z włókna szklanego. PKN, Warszawa.
- PN-EN 1899-1:2002: Jakość wody; Oznaczanie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n dniach (BZTn). Część 1: Metoda rozcieńczenia i szczepienia z dodatkiem allilotiomocznika. PKN, Warszawa.
- PN-EN 1899-2:2002: Jakość wody; Oznaczanie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n dniach (BZTn). Część 2: Metoda do próbek nierozcieńczonych. PKN, Warszawa.
- PN-EN ISO/IEC 17025:2005 + Ap1:2007: Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących. PKN, Warszawa.
- PN-ISO 5667-10:1997: Jakość wody; Pobieranie próbek; Wytyczne pobierania próbek ścieków. PKN, Warszawa.
- PORADNIK dotyczący gospodarki ściekowej w kontekście wykonania Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. 2010. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- POZWOLENIE WODNOPRAWNE na odprowadzanie ścieków z oczyszczalni ścieków we Wrześni z dnia 16 kwietnia 2004 roku. 2004. Starostwo Powiatowe, Września.
- ROSTKOWSKA A., SIEDLECKA E., 1999. Ocena skuteczności miejskiej oczyszczalni w Tczewie. *Ochr. Środ.* 72, 1: 14-17.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. 2006. *Dz. U.* 137, poz. 984.
- SULIGOWSKI Z., TUSZYŃSKA A.E., 2008. Alternatywna kanalizacja. *Vademecum dla przedsiębiorców*. Warmińsko-Mazurski Zakład Doskonalenia Zawodowego, Olsztyn.
- USTAWA z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzeniu ścieków. 2006. *Dz. U.* 123, poz. 858, z późn. zm.
- USTAWA z dnia 27 kwietnia 1991 r. Prawo ochrony środowiska. 2008. *Dz. U.* 25, poz. 150.
- USTAWA z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne. 2012. *Dz. U.* 0, poz. 145.

CONTAMINANT AMOUNTS AND EFFECTIVENESS OF SEWAGE TREATMENT FROM REGION OF WRZEŚNIA WITHIN THE COMPASS OF YEARS

Summary. The aim of the research was to determine the parameter of contamination in sewage and the effectiveness of its treatment by the mechanical-biological sewage treatment plant located in Września in the Wielkopolska voivodeship. The research was based on data from 11 years (2001-2011) of the sewage treatment plant work. The following indicators of contamination were analysed: Biochemical Oxygen Demand for 5 days (BOD), suspended solids, total nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen and total phosphorus. On the basis of the received data it was observed that levels of most contaminants in sewage increased over the 11 years. It was particularly visible in the cases of suspended solids, 5-day BOD, ammonium and total phosphorus. Regardless of such tendencies, the effectiveness of sewage treatment over the studied period was satisfactory. Coefficients of contaminants reduction averaged for 2001-2011 amounted to 94% for suspended solids, 99% for 5-day BOD, 84% for total nitrogen, 99% for ammonium nitrogen and 86% for total phosphorus. It was also shown that the amount of total nitrogen in treated sewage was determined by the amount of nitrates in it, whereas concentration of total nitrogen in untreated sewage was dependent on the concentration of ammonium nitrogen.

Key words: sewage, treatment effect, contaminants amount

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Joanna Jordanowska, Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. we Wrześni, ul. Miłosławska 8, 62-300 Września, Poland, e-mail: jordanoo@poczta.onet.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

29.05.2013

Do cytowania – For citation:

*Jordanowska J., Jakubus M., 2013. Ładunki zanieczyszczeń oraz efektywność oczyszczania ścieków komunalnych z rejonu Wrześni na przestrzeni lat. *Nauka Przyr. Technol.* 7, 3, #32.*