

*słowa kluczowe: ścieki, materia organiczna,
frakcje ChZT, biodegradowalność,
zanieczyszczenia, oczyszczalnia ścieków*

Joanna STRUK-SOKOŁOWSKA*

SPECJACJA MATERII ORGANICZNEJ ZA POMOCĄ CHZT W ŚCIEKACH NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE

W artykule opisano metodę charakterystyki zanieczyszczeń organicznych w ściekach, uwzględniając ich podział na związki biodegradowalne oraz niepodatne na biologiczny rozkład. Dodatkowo zaprezentowano proces mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków w Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Hajnówce. Obiekt znajduje się w północno-wschodniej Polsce. Dopływają do niego ścieki komunalne, w których skład wchodzi ścieki przemysłowe: mleczarskie oraz z zakładu produkcji węgla drzewnego. W pracy dokonano analizy wyników badań jakościowych ścieków surowych i oczyszczonych. Na ich podstawie obliczono sprawność usuwania zanieczyszczeń tj.: zawiesina ogólna, azot i fosfor ogólny oraz zanieczyszczeń organicznych charakteryzowanych za pomocą wskaźników BZT₅ i ChZT. Charakterystykę ścieków poszerzono o frakcje ChZT, obliczone na podstawie wyników badań własnych autorki. Specjacji materii organicznej dokonano w próbkach ścieków surowych, po mechanicznym oczyszczaniu oraz po mechaniczno-biologicznym oczyszczaniu. Uzyskane wartości frakcji ChZT oraz ich procentowe udziały porównano z wynikami badań prezentowanymi w literaturze.

1. WPROWADZENIE

W biologicznym oczyszczaniu ścieków z usuwaniem związków biogenych niezbędne jest zapewnienie mikroorganizmom osadu czynnego warunków do ich prawidłowego metabolizmu. Stosunek C:N:P, powinien wynosić około 20:4:1 [9]. Wysokoefektywne procesy oczyszczania ścieków wymagają obecności węgla organicznego w postaci substratów biodegradowalnych lub łatwo hydrolizującej substancji organicznej. Związki organiczne wykorzystywane w procesach denitryfikacji oraz zwiększonego biologicznego usuwania fosforu (EBPR) najczęściej pochodzą bezpośrednio

* Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska, 15-351 Białystok ul. Wiejska 45A

z oczyszczanych ścieków czyli tzw. wewnętrznego źródła węgla. Jednak często w oczyszczanych ściekach, stosunek ilości węgla do azotanów (V) i fosforanów nie jest wystarczający dla efektywnego przebiegu procesu oczyszczania [10].

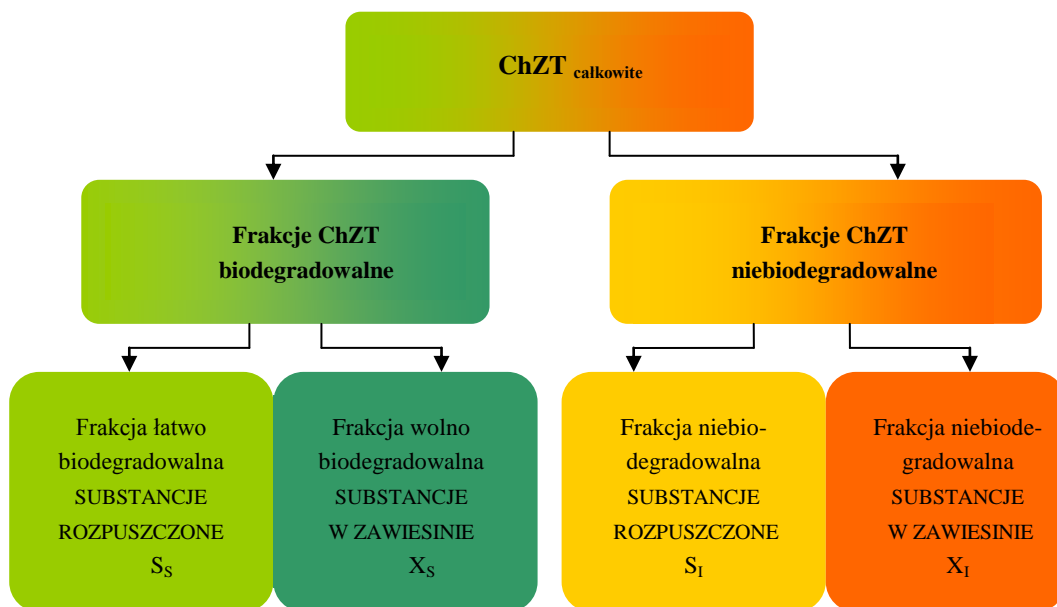
Złożoność procesów biochemicznych w zintegrowanym usuwaniu zanieczyszczeń ze ścieków, wymusza wykorzystywanie symulacji komputerowych i modeli matematycznych w projektowaniu, eksploatacji i optymalizacji procesów biologicznego oczyszczania ścieków [12]. Do przeprowadzenia kalibracji i symulacji (stanu ustalonego i dynamicznej) części biologicznej oczyszczalni ścieków niezbędne jest poznanie charakterystyki oczyszczanych w niej ścieków. Znajomość składu substratów w ściekach, oraz udziału poszczególnych grup związków organicznych, pozwala na zaprojektowanie i eksploataowanie reaktorów biologicznych, tak aby stworzyć najlepsze warunki dla realizacji odpowiednich procesów jednostkowych, zapewniających oczekiwane efekty ich oczyszczania [11].

Do parametrów charakteryzujących substancje organiczne w ściekach powszechnie zaliczane są wskaźniki, tj.: biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT_5), chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT), ogólny węgiel organiczny (OWO). BZT_5 informuje jednak jedynie o zanieczyszczeniach łatwo biodegradowalnych. Nie pozwala na ocenę zanieczyszczeń niebiodegradowalnych. Natomiast chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) określa związki organiczne biologicznie rozkładalne oraz związki niebiodegradowalne w ściekach. Żaden z powyższych parametrów nie obrazuje jednak udziału poszczególnych form substancji organicznej w ściekach z podziałem na substancje rozpuszczone i w zawiesinie. Udział poszczególnych form materii organicznej w ściekach, najczęściej opisuje się przez frakcjonowanie ChZT [7]. Umożliwia ono określenie tych form z dodatkowym uwzględnieniem biodegradowalności i braku podatności na biologiczny rozkład. Podział całkowitego ChZT na frakcje przedstawiono na rysunku 1. Fizyczno-chemiczna metoda wyznaczania udziału frakcji w całkowitym ChZT ścieków opiera się na rozdziale przez wirowanie, filtrację i mikrofiltrację [13] lub filtrację, mikrofiltrację, koagulację, sedymentację i wirowanie [3, 4].

2. CHARAKTERYSTYKA FRAKCJI CHZT

W całkowitym ChZT ścieków wyróżnia się frakcje biodegradowalne oraz frakcje nie podlegające biologicznemu rozkładowi [16]. Udział frakcji biodegradowalnych (S_s i X_s) ulega zmianie pod wpływem działania mikroorganizmów i ma duży wpływ na dynamiczne zachowanie procesu (np.: zapotrzebowanie tlenu). Frakcje te mają główne znaczenie w projektowaniu systemów biologicznego usuwania azotu i fosforu [6]. Frakcję rozpuszczoną (S_s) stanowią substancje bezpośrednio przyswajane przez mikroorganizmy, metabolizowane dla potrzeb syntezy i pozyskiwania energii. Natomiast frakcja zawieszinowa (X_s) przed sorpcją i wykorzystaniem wymaga rozbicia

przez enzymy zewnątrzkomórkowe. Natomiast frakcje niebiodegradowalne (S_I i X_I) nie podlegają zmianom pod wpływem różnych rodzajów bakterii o specyficznych wymaganiach. W procesie osadu czynnego stężenie frakcji rozpuszczonej (S_I) w odpływie z reaktorów jest równe stężeniu w dopływie. Natomiast frakcja w zawieszynie (X_I) może gromadzić się w systemie, w wyniku wbudowywania w biomasę. Przy długim wieku osadu frakcja ta może stanowić znaczną część stężenia suchej masy osadu czynnego [4].



Rys. 1. Podział ChZT całkowitego na frakcje [3, 4, 9]

Podział ChZT całkowitego ścieków na frakcje związków organicznych obrazuje wzór [6, 9, 11, 13, 16, 17]:

$$\text{ChZT} = S_S + S_I + X_S + X_I \quad (1)$$

gdzie:

S_S – frakcja związków rozpuszczonych, łatwo biodegradowalnych,

S_I – frakcja związków rozpuszczonych, nie ulegających biologicznemu rozkładowi (inertnych),

X_S – frakcja związków w zawieszynie biologicznie wolno rozkładalnych,

X_I – frakcja związków w zawieszynie biologicznie nierozkładalnych (inertnych)

3. CEL I OBIEKT BADAŃ

Celem badań było określenie podatności ścieków surowych oraz mechanicznie oczyszczonych na biodegradację, poprzez wyznaczenie frakcji ChZT oraz ich udziałów procentowych w całkowitym ChZT ścieków. Specjacji materii organicznej za pomocą ChZT dokonano również w próbkach ścieków oczyszczonych, co miało na celu ustalenie składu ścieków po procesie mechaniczno-biologicznego oczyszczania.

Oczyszczalnia ścieków w Hajnówce została oddana do użytku w latach 90 ubiegłego stulecia. Maksymalna dobowa przepustowość oczyszczalni wynosi 6600 m³. Rzeczywista ilość ścieków dopływających do oczyszczalni to 4800 m³·d⁻¹. Równoważna liczba mieszkańców (RLM) dla obiektu wynosi 38800. Do obiektu dopływają ścieki bytowe oraz przemysłowe m.in. z zakładów: przetwórstwa mleka oraz produkcji węgla drzewnego. Ścieki mleczarskie z Okręgowej Spółdzielni Mleczarskiej w Hajnówce dopływają do napowietrzanego zbiornika uśredniająco – retencyjnego, skąd tłoczone są na oczyszczalnię ścieków [2]. Schemat technologiczny obiektu przedstawiono na rysunku 2.

Ścieki surowe z kanalizacji miejskiej tłoczone są do komory rozprężnej oraz są dowożone taborem asenizacyjnym w ilości 10150 m³·rok⁻¹ do punktu zlewnego zlokalizowanego na terenie oczyszczalni ścieków. Stację mechanicznego oczyszczania ścieków stanowi zblokowane urządzenie typu Rotomat Huber Ro2/1000/3. W jego skład wchodzi: sito bębnowe o średnicy 1000 mm i prześwicie otworów 2 mm, piaskownik przedmuchiwany z płuczką piasku RoSF4tC, separator tłuszczów, prasa do odwadniania skrutek z układem irga oraz panelu sterowania i automatyki. Średnia przepustowość urządzenia wynosi 120 l·s⁻¹.

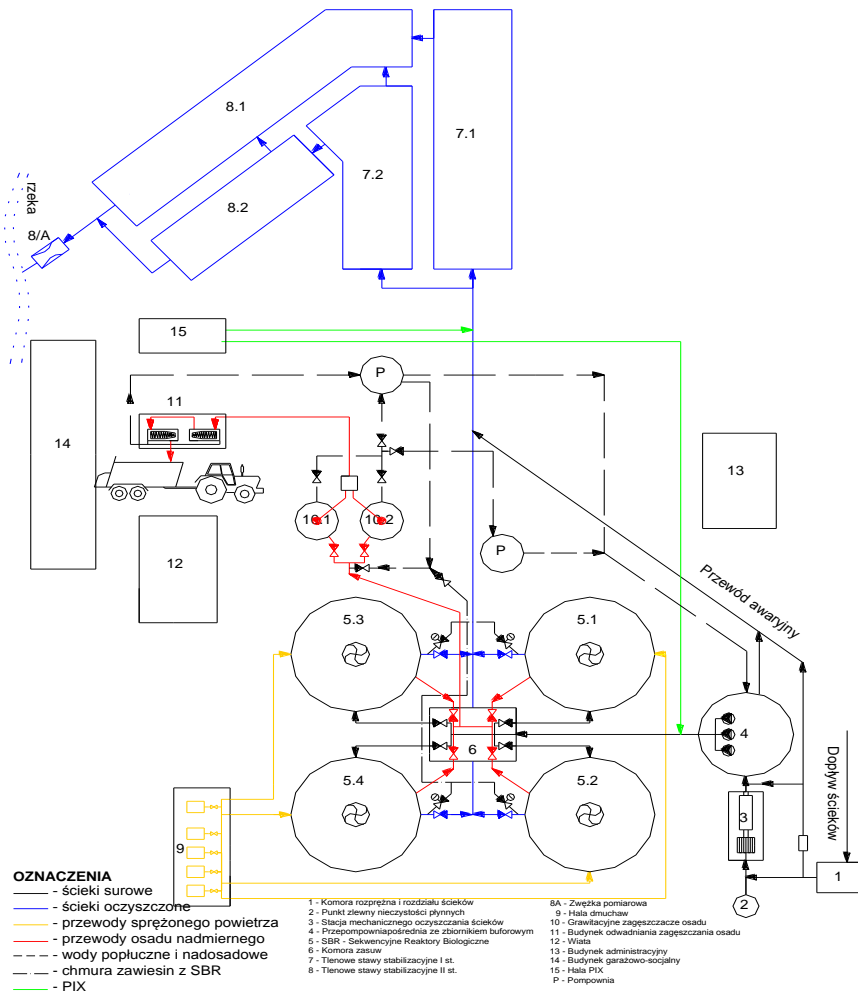
Mechanicznie oczyszczone ścieki dopływają do przepompowni pośredniej ze zbiornikiem buforowym. Jest to zbiornik żelbetowy zamknięty o średnicy 14 m i głębokości całkowitej 5,8 m. Pojemność robocza zbiornika wynosi 615 m³. Ścieki dopływają do przepompowni przewodem grawitacyjnym Ø 400 mm, skąd tłoczone są do komór sekwencyjnych biologicznych reaktorów (SBR).

Proces oczyszczania biologicznego prowadzony jest w układzie cyklicznym, w 4 komorach cylindrycznych o średnicy 17 m, wysokości czynnej 6 m, pojemności czynnej 1361 m³. Wysokość spustowa SBR wynosi 3,7 m, natomiast współczynnik dekantacji kształtuje się na poziomie 0,38. Początkowo komory SBR wyposażone były w ruszty napowietrzające, drobnopęcherzykowe, które wymieniono na mieszałki hiperboloidalne. Czas trwania pojedynczego cyklu wynosi 8 godzin i obejmuje: anaerobową fazę defosfatacji, aerobową fazę utleniania związków węgla organicznego i nityfikacji, anoksyczną fazę denityfikacji, sedymentację osadu czynnego (z okresowym spustem osadu nadmiernego) i dekantację ścieków oczyszczonych. Warunki tlenowe zmieniają się w zakresie 0-2 gO₂·m⁻³. Istnieje możliwość dozowania PIX na kanale spustowym ścieków oczyszczonych. Sklarowane ścieki odprowadzane są do dwustopniowych, tlenowych stawów stabilizacyjnych. Odbiornikiem ścieków oczysz-

czonych jest rzeka Leśna Prawa. Osad nadmierny ustabilizowany tlenowo jest odprowadzany do zagęszczaczy grawitacyjnych o średnicy 4,5 m, wysokości 4 m i pojemności 50 m³, a następnie zagęszczany wirówką i higienizowany wapnem przed finalnym rolniczym wykorzystaniem [14].

W 2012 roku w oczyszczalni ścieków w Hajnówce rozpoczęto kilkietapową modernizację, obejmującą m. in. rozbudowę istniejącej części osadowej. Jej propozycję przedstawiono w artykule Bartkowska i in. 2011 [1].

SCHEMAT TECHNOLOGICZNY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W HAJNÓWCE



Rys. 2. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Hajnówce

4. METODYKA BADAŃ

Analizy fizyczno-chemiczne ścieków przeprowadzono latem 2013 roku. Badania prowadzono w próbkach ścieków surowych i oczyszczonych. Dokonano 6 poborów próbek ścieków i oznaczono w nich BZT₅, ChZT, azot ogólny, fosfor ogólny i zawiesiny ogólne. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono sprawność usuwania zanieczyszczeń. Podane w tabeli 1 wartości statystyki opisowej parametrów oraz sprawności oczyszczania ścieków są średnią z uzyskanych wyników.

W celu obliczenia wartości frakcji ChZT, a następnie ich udziałów procentowych przeprowadzono analizy w próbkach ścieków: surowych (wlot), po oczyszczeniu mechanicznym oraz oczyszczonych (wylot). Metodyka wyznaczania frakcji ChZT w ściekach została opracowana na podstawie ATV-A131 [15].

Organiczne zanieczyszczenia rozpuszczone obliczono na podstawie [13, 17]:

$$S_{\text{ChZT}} = S_s + S_I \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (2)$$

gdzie:

S_s – frakcja zw. rozpuszczonych, łatwo biodegradowalnych,

S_I – frakcja zw. rozpuszczonych, nie ulegających biologicznemu rozkładowi.

W celu określenia S_{ChZT} – oznaczono ChZT ścieków surowych po procesie wirowania i filtracji. Określenie frakcji rozpuszczonej biologicznie nierozkładalnej S_I polegało na oznaczeniu ChZT próbki ścieków oczyszczonych sączonych.

Frakcja związków rozpuszczonych łatwo biodegradowalnych S_s wyznaczona została z różnicy:

$$S_s = S_{\text{ChZT}} - S_I \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (3)$$

Frakcję zanieczyszczeń w zawieszynie biologicznie wolno rozkładalnych X_s wyznaczono z równania:

$$X_s = \text{BZT}_C - S_s \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (4)$$

gdzie:

BZT_c – BZT całkowite,

S_s - frakcja zw. rozpuszczonych, łatwo biodegradowalnych.

BZT całkowite obliczono na podstawie oznaczonego doświadczalnie BZT₅ ścieków. Kinetyka pierwszej fazy rozkładu BZT, opisana równaniem reakcji I rzędu:

$$\text{BZT}_t = \text{BZT}_c (1 - 10^{-k \cdot t}) \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (5)$$

gdzie:

BZT_t – zapotrzebowanie tlenu po czasie t ,

k – stała szybkości reakcji, d^{-1} , dla substancji zawartych w ściekach bytowych mieści się w przedziale 0,1-0,3/d, przyjmuje się, że średnia jej wartość wynosi 0,23/d [5],

BZT_c – zapotrzebowanie całkowite tlenu dla I fazy rozkładu [8].

Przyjmując $t = 5$ [d] oraz $k = 0,23$ [d^{-1}] uzyskano uproszczony wzór:

$$\text{BZT}_c = \text{BZT}_5 / 0,6 \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (6)$$

Całkowite stężenie substancji organicznych w zawieszynie określono na podstawie zależności podanej w wytycznych ATV-131 [15]:

$$X_I = A \cdot X_{\text{ChZT}} \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (7)$$

gdzie:

X_{ChZT} -całkowite stężenie substancji organicznych w zawieszynie $X_{\text{ChZT}} = X_s + X_I$

A – współczynnik zmieniający się w zakresie od 0,2 do 0,35 w zależności od rodzaju ścieków, względnie czasu zatrzymania ścieków w osadniku wstępnym, dla badanych ścieków przyjęto $A = 0,25$, dlatego:

$$X_I = 0,25 \cdot X_{\text{ChZT}} \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (8)$$

Podstawiając do równania powyższe zależności stężenie substancji organicznych w zawieszynie obliczono na podstawie:

$$X_{\text{ChZT}} = X_s / 0,75 \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (9)$$

Frację biologicznie nierozkładalną w zawieszynie X_I określono z różnicy uzyskanych wartości X_{ChZT} i X_s :

$$X_I = X_{\text{ChZT}} - X_s \text{ [mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (10)$$

5. WYNIKI BADAŃ

Ścieki dopływające do oczyszczalni w Hajnówce charakteryzują się wysokimi wartościami wskaźników zanieczyszczeń oraz nierównomiernym składem jakościowym. Wpływa na to znaczny udział ścieków przemysłowych. Wartości statystyki opisowej parametrów oraz sprawność oczyszczania ścieków w Hajnówce podano w tabeli 1.

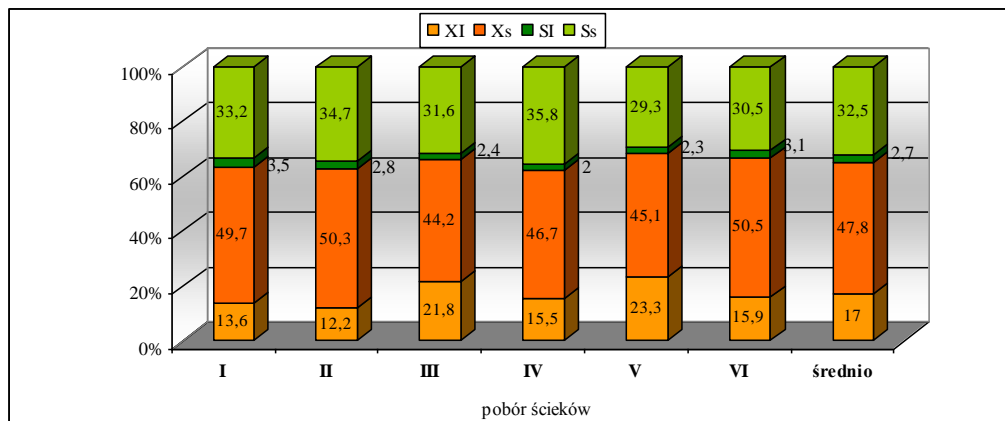
Tabela 1. Wartości statystyki opisowej parametrów oraz sprawności oczyszczania ścieków w Hajnówce

Statystyki	Analizowane parametry									
	BZT ₅		ChZT		Zog		Nog		Pog	
	mgO ₂ ·dm ⁻³		mgO ₂ ·dm ⁻³		mg·dm ⁻³		mgN·dm ⁻³		mgP·dm ⁻³	
	ścieki		ścieki		ścieki		ścieki		ścieki	
	wlot	wylot	wlot	wylot	wlot	wylot	wlot	wylot	wlot	wylot
Średnio	378,3	3,2	863,7	34,2	376,7	5,0	79,7	5,7	15,4	0,7
Min.	250,0	2,0	685,0	30,0	270,0	2,5	65,5	2,9	11,0	0,3
Max.	500,0	5,0	981,0	44,0	490,0	7,2	98,0	9,9	20,1	1,6
Mediana	390,0	3,0	911,0	31,5	350,0	5,4	77,1	5,4	15,0	0,6
Odch. stan.	108,5	1,0	127,4	5,7	89,1	1,8	14,7	2,3	3,6	0,5
Statystyki	Sprawność usunięcia									
	%									
	BZT ₅		ChZT		Zog		Nog		Pog	
Średnio	99,2		95,9		98,6		92,8		94,5	
Min.	98,8		93,6		97,9		89,5		86,9	
Max.	99,4		96,9		99,5		97,0		98,1	
Mediana	99,2		96,4		98,6		92,5		97,0	
Odch. stan.	0,2		1,2		0,7		2,5		4,8	

Wartość BZT₅ ścieków dopływających do oczyszczalni w Hajnówce w analizowanym okresie wahała się od 250 do 500 mgO₂·dm⁻³. Sprawność usunięcia zanieczyszczeń, charakteryzowanych tym parametrem, w cyklach badawczych prowadzonych w 2013 roku, mieściła się w zakresie od 98,8 do 99,4% (średnio 99,2%) i była wyższa od odnotowanej przez Białomyzy i Struk-Sokołowską 2013 [2] w cyklach badawczych z 2012 roku. W ściekach oczyszczonych średnia wartość BZT₅ wynosiła 3,2 mgO₂·dm⁻³. Średnia wartość ChZT ścieków surowych była zbliżona do 860 mgO₂·dm⁻³, natomiast ścieków oczyszczonych do 34 mgO₂·dm⁻³, co oznacza, że zanieczyszczenia charakteryzowane tym wskaźnikiem były usuwane ze ścieków ze sprawnością bliską 96%. Stężenie zawiesin ogólnych w ściekach surowych wahało się od 270 do 490 mg·dm⁻³. W ściekach oczyszczonych ich średnie stężenie to 5 mg·dm⁻³. Maksymalna odnotowana sprawność usuwania zawiesin ogólnych ze ścieków w oczyszczalni w Hajnówce wynosiła 99,5%. Azot ogólny usuwany był z efektywnością od 89,5 do 97%. Jego maksymalne stężenie wynosiło blisko 80 mgN·dm⁻³, nato-

miast minimalne było równe $65,5 \text{ mgN}\cdot\text{dm}^{-3}$. W ściekach oczyszczonych stężenie azotu ogólnego wahało się od $2,9$ do $9,9 \text{ mgN}\cdot\text{dm}^{-3}$. Średnia sprawność usuwania fosforu ogólnego ze ścieków w oczyszczalni w Hajnówce wynosiła ponad $94,5\%$ i była niższa od odnotowanej przez Białomyzy i Struk-Sokołowską 2013 [2] w 2012 roku. Maksymalne stężenie P_{og} w ściekach surowych przekraczało $20 \text{ mgP}\cdot\text{dm}^{-3}$, natomiast w ściekach oczyszczonych $1,6 \text{ mgP}\cdot\text{dm}^{-3}$.

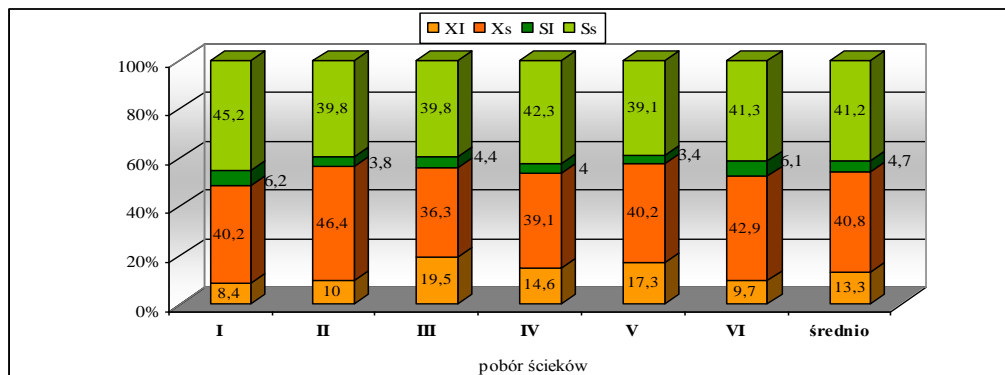
Na rysunku 3 przedstawiono procentowe udziały frakcji ChZT w ściekach surowych pobranych w sześciu cyklach badawczych. Średnia wartość ChZT ścieków surowych kształtowała się na poziomie $863,7 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$, z czego około 80% tj. blisko $700 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ stanowiły substancje biodegradowalne, natomiast około $170 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ związki niebiodegradowalne. Biorąc pod uwagę zanieczyszczenia ulegające biologicznemu rozkładowi $32,5\%$ tj. około $280 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ stanowiły substancje rozpuszczone, łatwo biodegradowalne, natomiast aż $420 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ zanieczyszczenia wolno ulegające biologicznemu rozkładowi. Średnia wartość frakcji inertnych (S_I i X_I) w ściekach surowych, stanowiła łącznie około 20% i wynosiła odpowiednio $23,3 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ i $146,8 \text{ mgO}_2\cdot\text{dm}^{-3}$.



Rys. 3. Udziały frakcji ChZT [%] w ściekach surowych w kolejnych cyklach badawczych oraz ich wartości średnie

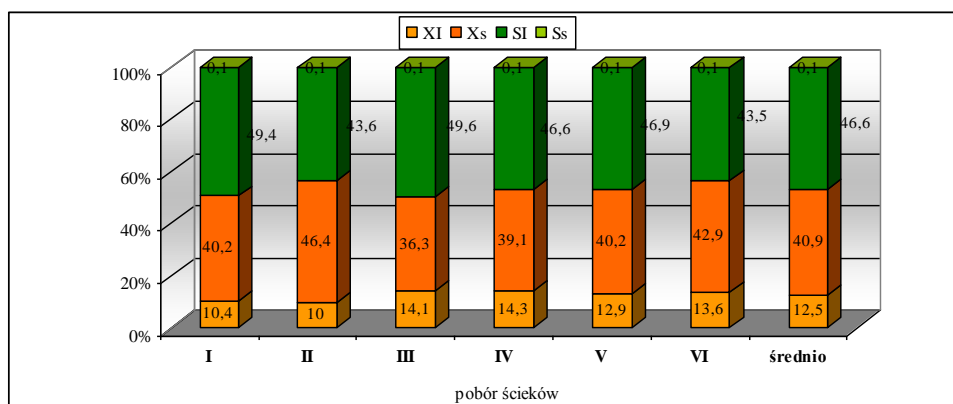
Na rysunku 4 przedstawiono udziały frakcji ChZT w ściekach po oczyszczeniu mechanicznym. Proces spowodował wzrost udziału frakcji rozpuszczonej łatwo biodegradowalnej S_S . Jej udział w sześciu cyklach badawczych wahał się od $39,8$ do $45,2\%$, stanowiąc średnio $41,2\%$. Mechaniczne oczyszczanie ścieków spowodowało również spadek udziału frakcji w zawiesinie X_S i X_I odpowiednio o 7 i $3,7\%$. Frakcja związków wolno biodegradowalnych X_S zmieniała swój udział w zakresie $36,3$ - $46,4\%$ i stanowiła średnio $40,8\%$ całkowitego ChZT ścieków, natomiast frakcja zanieczyszczeń w zawiesinie nie ulegających biologicznemu rozkładowi w zakresie $8,4$ - $19,5\%$, przy średnim udziale wynoszącym $13,3\%$. Związki, wchodzące w skład frakcji roz-

puszczonej niebiodegradowalnej S_1 w ściekach oczyszczonych mechanicznie zmieniły swój udział w zakresie od 3,4 do 6,2%. Ich średni udział kształtował się na poziomie 4,7%.



Rys. 4. Udziały frakcji ChZT [%] w ściekach po oczyszczeniu mechanicznym w kolejnych cyklach badawczych oraz ich wartości średnie

Na rysunku 5 przedstawiono procentowe udziały frakcji ChZT w ściekach oczyszczonych. Średnia wartość ChZT wynosiła $34,2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, z czego blisko 47%, czyli około $16 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ stanowiły związki wchodzące w skład frakcji rozpuszczonej niebiodegradowalnej S_1 . Stosunkowo dużym udziałem, na poziomie 40,9% (około $14 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) charakteryzowały się zanieczyszczenia w zawieszinie wolno biodegradowalne X_s , natomiast zanieczyszczenia zawieszinowe nie ulegające biologicznemu rozkładowi X_1 stanowiły średnio jedynie 12,5%, co w odniesieniu do ChZT ścieków oczyszczonych daje wartość bliską $4,3 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$.



Rys. 5. Udziały frakcji ChZT [%] w ściekach po oczyszczeniu mechaniczno-biologicznym w kolejnych cyklach badawczych oraz ich wartości średnie

W tabeli 2 porównano średnie procentowe udziały frakcji ChZT w ściekach dopływających do oczyszczalni w Hajnówce z danymi literaturowymi. Stwierdzono, że obliczone wartości frakcji ChZT w ściekach surowych mieszczą się w zakresach podawanych przez innych badaczy. Średni udział frakcji zanieczyszczeń rozpuszczonych łatwo biodegradowalnych S_s mieści się w zakresie podanym przez Dymaczewskiego 2008 [4], Biernackiego i Liwarską-Bizukojć 2011 [3] i Zawilskiego i Brzezińską 2009 [16], natomiast jest wyższy od prezentowanego przez Myszograj 2005 [6], Myszograj 2005 [7], Płuciennik-Koropczuk 2009 [11] oraz Zdebika i Głodnioka 2010 [17]. Może mieć to związek z udziałem ścieków mleczarskich dopływających do oczyszczalni w Hajnówce, charakteryzowanych jako łatwo biodegradowalne. Średni udział frakcji zanieczyszczeń rozpuszczonych, które nie podlegają biologicznemu rozkładowi S_l w ściekach surowych jest zbliżony do podanego przez Myszograj 2005 [6], Myszograj 2005 [7], Dymaczewskiego [4], Struk-Sokołowską 2011 [13], Biernackiego i Liwarską-Bizukojć 2011 [3], natomiast jest niższy od prezentowanego przez Zawilskiego i Brzezińską 2009 [16] oraz Zdebika i Głodnioka 2010 [17]. Średni udział frakcji zanieczyszczeń wolno biodegradowalnych X_s w ściekach surowych mieści się w zakresie podanym przez Zawilskiego i Brzezińską 2009 [16]. Zanieczyszczenia niebiodegradowalne w zawieszynie X_l w ściekach z oczyszczalni w Hajnówce miały średni udział bardzo zbliżony do prezentowanych w literaturze [3, 7, 6, 11, 16, 17].

Tabela 2. Porównanie procentowych udziałów frakcji ChZT w ściekach surowych

Oczyszczalnia ścieków			Frakcja ChZT				Źródło
Położenie	Qdśr [m ³ ·d ⁻¹]	RLM [tys.]	S_s [%]	S_l [%]	X_s [%]	X_l [%]	
Sulechów	2822	26,3	25,9	2,6	53,6	17,9	[7]
	2654	25,3	22,0-27,0	1,0-3,0	54,0-56,0	18,0-19,0	[6]
Gdańsk	180000	870,0	13,0-16,0	5,4-6,8	23,1-27,6	11,5-13,1	[4]
Poznań	100260	1026,0	30,2-46,9	6,5-8,0	37,1-40,9	4,0-12,0	[4]
Zielona Góra	51225	195,0	24,6	5,7	52,3	17,4	[11]
Gdynia	60000	420,0	17,2-28,0	2,3-2,7	19,3-21,2	13,3-14,4	[4]
Olecko	3000	31,8	48,9	2,2	36,7	12,2	[13]
Zgierz	11500	100,0	24,1-36,3	2,4-5,2	28,6-42,5	19,8-29,4	[3]
Łódź	180000	820,0	6,0-45,0	4,0-9,0	20,0-70,0	4,0-69,0	[16]
Rybnik	27500	150,0	21,0	6,0	55,0	18,0	[17]
Hajnówka	4800	38,8	32,5	2,7	47,8	17,0	badania własne

W tabeli 3 porównano średnie procentowe udziały frakcji ChZT obliczone w ściekach po oczyszczeniu mechanicznym z udziałami określonymi przez innych badaczy. Udziały wszystkich frakcji S_s , S_l , X_s , X_l obliczonych w ściekach z oczyszczalni w Hajnówce były bardzo zbliżone do prezentowanych przez Myszograj 2005 [6], która prowadziła analizy w ściekach z oczyszczalni w Sulechowie. Różniły się nato-

miast nieznacznie od podanych przez Zdebniaka i Głodnioka 2010 [17] oraz Struk-Sokołowską 2011 [13].

Tabela 3. Porównanie udziałów frakcji ChZT w ściekach oczyszczonych mechanicznie

Oczyszczalnia ścieków			Fracja ChZT				Źródło
Położenie	Qdśr [m ³ ·d ⁻¹]	RLM [tys.]	S _S [%]	S _I [%]	X _S [%]	X _I [%]	
Sulechów	2822	26,3	37,0-44,0	3,0-13,0	37,0-45,0	12,0-15,0	[6]
Olecko	3000	31,8	47,4	2,1	37,8	12,6	[13]
Rybnik	27500	150,0	35,5	8,6	41,9	14,0	[17]
Hajnówka	4800	38,8	41,2	4,7	40,8	13,3	badania własne

W tabeli 4 podano średnie procentowe udziały frakcji ChZT w ściekach oczyszczonych i porównano je z wynikami prezentowanymi w literaturze. Średni udział frakcji S_S w ściekach z oczyszczalni w Hajnówce jest taki sam, jak obliczony przez Myszograj 2005 [6] oraz Struk-Sokołowską 2011 [13], natomiast niższy od podanego przez Zdebniaka i Głodnioka 2010 [17] w oczyszczalni w Zgierzu. Udział zanieczyszczeń rozpuszczonych wolno biodegradowalnych S_I mieści się w zakresie podanym przez Myszograj 2005 [6], jest bardzo zbliżony do prezentowanego przez Struk-Sokołowską 2011 [13], natomiast zdecydowanie odbiega od uzyskanego przez Zdebniaka i Głodnioka 2010 [17]. Udziały zanieczyszczeń w zawiesinie: wolno biodegradowalnych X_S i niebiodegradowalnych S_I, obliczone na podstawie badań wykonanych w ściekach z Hajnówki mieszczą się w zakresie podanym przez Myszograj 2005 [6], są zbliżone do uzyskanych przez Struk-Sokołowską 2011 [13] w ściekach z oczyszczalni w Olecku, natomiast są wyższe od prezentowanych przez Zdebniaka i Głodnioka 2010 [17].

Tabela 4. Porównanie udziałów frakcji ChZT w ściekach mechanicznie i biologicznie oczyszczonych

Oczyszczalnia ścieków			Fracja ChZT				źródło
położenie	Qdśr [m ³ ·d ⁻¹]	RLM [tys.]	S _S [%]	S _I [%]	X _S [%]	X _I [%]	
Sulechów	2822	26,3	<1,0	39,0-59,0	31,0-46,0	10,0-15,0	[6]
Olecko	3000	31,8	<1,0	50,6	37,0	12,4	[13]
Rybnik	27500	150,0	7,0	87,0	5,0	1,0	[17]
Hajnówka	4800	38,8	<1,0	46,6	40,9	12,5	badania własne

6. PODSUMOWANIE

Analiza wyników badań przeprowadzonych w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni w Hajnówce oraz w ściekach oczyszczonych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Udział procentowy poszczególnych frakcji ChZT w ściekach w sześciu cyklach badawczych był zbliżony.
2. W ściekach surowych dominujący udział miały frakcje zanieczyszczeń biodegradowalnych (S_S i X_S) i stanowiły około 80% całkowitego ChZT ścieków.
3. Frakcje S_S i X_S , które w sposób decydujący wpływają na przebieg procesów biologicznego oczyszczania ścieków stanowiły łącznie w ściekach mechanicznie oczyszczonych 82%, tj. odpowiednio 41,2 i 40,8%.
4. Proces mechanicznego oczyszczania ścieków powodował wzrost udziału frakcji zanieczyszczeń rozpuszczonych łatwo biodegradowalnych S_S oraz spadek udziału zanieczyszczeń w zawieszynie wolno biodegradowalnych X_S .
5. Wskutek procesu biologicznego oczyszczania ścieków nastąpiło gwałtowne obniżenie frakcji zanieczyszczeń rozpuszczonych łatwo biodegradowalnych S_S , a dominujący udział w ściekach oczyszczonych miała frakcja zanieczyszczeń rozpuszczonych niebiodegradowalnych S_I , co potwierdza wysoką prawność obiektu.
6. Wyznaczone w badaniach wartości i udziały procentowe frakcji ChZT są zbliżone do prezentowanych w literaturze.

Artykuł jest wynikiem realizacji pracy statutowej KTwiIOŚ Politechniki Białostockiej.

Pragnę podziękować pracownikom Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Hajnówce, a w szczególności Panu Januszowi Bilkiewicz za pomoc w badaniach.

LITERATURA

- [1] BARTKOWSKA I., DZIENIS L., WAWRENTOWICZ D.: *Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Hajnówce i propozycja jej modernizacji*, Inżynieria Ekologiczna, 24, 226-235, 2011.
- [2] BIAŁOMYZY I., STRUK-SOKOŁOWSKA J.: *Efficiency in pollution in SBR wastewater treatment plants*. Environmental engineering – trough a young eye, 3, 70-79, 2013.
- [3] BIERNACKI R., LIWARSKA-BIZUKOJĆ E.: *Wyznaczanie frakcji ChZT ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków w Zgierzu pod kątem ich zastosowania w modelu ASM2d*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 11.2011, 438-441, 2011.
- [4] DYMACZEWSKI Z.: *Charakterystyka frakcji organicznych ścieków miejskich pod kątem modelu osadu czynnego ASM2d*. Przemysł Chemiczny, 87/5, 440-442, 2008.

- [5] ŁOMOTOWSKI J., SZPINDOR A.: *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*, Arkady, Warszawa, 1999.
- [6] MYSZOGRAJ S.: *Charakterystyka frakcji ChZT w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków*. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 32, 873-879, 2005.
- [7] MYSZOGRAJ S.: *Kolektor ściekowy jako bioreaktor*. II Kongres Inżynierii Środowiska, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, I, 32, 865-872, 2005.
- [8] MYSZOGRAJ S.: *Badania podatności na rozkład biologiczny ścieków bytowo-gospodarczych w warunkach testów laboratoryjnych*, Przemysł Chemiczny, 87, 5, 527-530, 2008.
- [9] MYSZOGRAJ S., SADECKA Z.: *Frakcje ChZT w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków w Sulechowie*. Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 6, 233-244, 2004.
- [10] OSTROWSKA K., JANCZUKOWICZ W., RODZIEWICZ J., MIELCAREK A.: *Wpływ procesu filtracji na relację między ilością substancji organicznych i związków biogennych w ściekach mleczarskich*. Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 1411-1425, 2013.
- [11] PŁUCIENNIK-KOROPCZUK E.: *Frakcje ChZT miarą skuteczności oczyszczania ścieków*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, VII-VIII.2009, 11-13, 2009.
- [12] SADECKA Z.: *Frakcje azotu w ciągu technologicznym oczyszczalni ścieków*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, VII-VIII.2006, 6-9, 2006.
- [13] STRUK-SOKOŁOWSKA J.: *Zmiany udziału frakcji ChZT podczas oczyszczania ścieków komunalnych z dużym udziałem ścieków mleczarskich*, Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 2015-2032, 2011.
- [14] STRUK-SOKOŁOWSKA J., IGNATOWICZ K.: *Współoczyszczanie ścieków komunalnych i mleczarskich w oczyszczalniach typu SBR*. Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 15, 1881-1898, 2013.
- [15] Wytyczne ATV-A131: *Wymiarowanie jednostopniowych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym*. Załącznik Bilans ChZT, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2000.
- [16] ZAWILSKI M., BRZEZIŃSKA A.: *Variability of COD and TKN fractions of combined wastewater*. Polish Journal of Environmental Studies, 18, 3, 501-505, 2009.
- [17] ZDEBIK D., GŁODNIOK M.: *Wyniki badań podatności ścieków na rozkład biologiczny – frakcje ChZT na przykładzie oczyszczalni ścieków w Rybniku*. Prace naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko, 4/2010, 97-114, 2010.

SPECIATION OF ORGANIC MATTER BY COD IN WASTEWATER ON THE CHOSEN EXAMPLE

The article describes a method for characterization of organic pollutants in wastewater, taking into account their division into biodegradable compounds and not susceptible to biological degradation. In addition, the article presents the process of mechanical-biological treatment of wastewater in the Municipal Wastewater Treatment Plant in Hajnówka. It is located in north-eastern Poland. Wastewater flows into the municipal wastewater, which include industrial wastewater: dairy and wood charcoal production. The paper presents an analysis of the results of qualitative studies of raw and treated wastewater. On the basis of calculated pollutant removal efficiency: total suspended solids, nitrogen and phosphorus, and organic pollutants characterized by indicators BOD₅ and COD. The characteristics of the wastewater expanded to COD fractions, calculated on the basis of the author's own research. Speciation of organic matter were made in samples of raw wastewater, after mechanical treatment wastewater and after mechanical-biological treatment. The obtained fraction of COD and their percentages were compared with the results presented in the literature.