

DARIUSZ ZDEBIK, MARCIN GŁODNIOK*

**BADANIA PODATNOŚCI ŚCIEKÓW NA ROZKŁAD
BIOLOGICZNY NA PRZYKŁADZIE OCZYSZCZALNI
PRACUJĄCEJ W TECHNOLOGII SEKWENCYJNO-
PRZEPLYWOWEJ**

Streszczenie

W artykule opisano wyniki badań mających na celu określenie udziału frakcji ChZT w ściekach surowych, po oczyszczeniu mechanicznym oraz w ściekach oczyszczonych. Całkowite ChZT było analizowane w podziale na frakcję rozpuszczoną związków organicznych łatwo przyswajalnych, rozpuszczonych związków organicznych nierozkładalnych, zawiesin organicznych wolno rozkładalnych oraz zawiesin organicznych biologicznie nierozkładalnych. Omówiono zmiany udziału poszczególnych frakcji ChZT w ciągu doby. Przeprowadzone badania wykazały, że w części mechanicznej następuje duże zmniejszenie zawiesin organicznych wolno rozkładalnej frakcji ChZT, co ma wpływ na biologiczne procesy oczyszczania ścieków ze związków biogennych.

Słowa kluczowe: frakcje ChZT, technologia sekwencyjno-przepływowa

WSTĘP

Na efektywność biologicznego oczyszczania ścieków w dużym stopniu wpływa ich charakterystyka. Ma ona istotne znaczenie w projektowaniu obiektów służących do biologicznego usuwania związków biogennych ze ścieków. To czy będzie możliwe usuwanie fosforu i czy do prawidłowego przebiegu procesu denitryfikacji niezbędne będzie zewnętrzne źródło węgla organicznego zależy od zawartości łatwo przyswajalnego węgla w ściekach [Myszograj 2004]. Związki organiczne charakteryzowane jako łatwo przyswajalna frakcja ChZT (SS) są wykorzystywane przez denitryfikanty oraz bakterie fosforowe. Udział ich wpływ na wielkość beztlenowej i niedotlenionej komory osadu czynnego. Z frakcji wolno rozkładalnego ChZT (XS) można, w wyniku rozkła-

* Główny Instytut Górnictwa; Zakład Ochrony Wód, 40-166 Katowice, Pl. Gwarków 1; tel.: 032 259 24 80; fax: 032 259 21 54, e-mail: dzdebik@gig.eu, mglodniok@gig.eu

du, uzyskać ChZT łatwo przyswajalne. Proces ten może być prowadzony w komorze osadu czynnego (z zawiesiny nieopadającej) lub w fermenterze z osadu wstępnego. Frakcja nierozkładalna rozpuszczona (S_I) obecna w ściekach nie jest usuwana w procesach biologicznych. Niekorzystny, dla procesów biologicznego oczyszczania, jest duży udział w ściekach nierozkładalnej zawiesiny (X_I) ponieważ wbudowuje się ona w kłaczkę osadu czynnego, która stanowi inertny balast. Z tego powodu oznaczenie suchej masy osadu czynnego nie odzwierciedla rzeczywistej ilości materii aktywnej, biorącej udział w oczyszczaniu ścieków [Ekama 1986, IWA 2003, Kalinowska 2005, Oleszkiewicz 2007]. Badania frakcji ChZT wykonano zgodnie z wytycznymi ATV-131 [ATV-131, 2000]. Frakcje ChZT oznaczono metodą dwuchromianową [PN-74/C-04578/03]. ChZT ścieków, z podziałem na frakcje, można obliczać według zależności [Łomotowski i Szpindor 1999, IWA 2003]:

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

gdzie:

- S_S - ChZT rozpuszczonych związków organicznych biologicznie łatwo rozkładalnych,
- S_I - ChZT rozpuszczonych związków organicznych biologicznie nierozkładalnych,
- X_S - ChZT zawiesin organicznych wolno rozkładalnych,
- X_I - ChZT zawiesin organicznych biologicznie nierozkładalnych.

TECHNOLOGIA SEKWENCYJNO-PRZEPLYWOWA

Technologia sekwencyjno-przeływowa BIODENITRO, lub BIOBENIPHO została opracowana w duńskiej firmie Krüger. Polega ona na przemiennej pracy pary komór, w których zachodzi usuwanie azotu. W technologii BIODENITRO w systemie czterofazowym, dopływ ścieków w fazie 1 następuje do komory A (denitryfikacja). W tym samym czasie w komorze B następuje nityfikacja. Po upływie zadanego czasu w systemie sterowania rozpoczyna się faza 2, podczas której następuje przepływ ścieków z komory A (denitryfikacja) do komory B (nityfikacja). Proces ten jest uzależniony od czasu nastawy. Faza 3 jest odwrotnością fazy 1, tzn. dopływ ścieków następuje do komory B (denitryfikacja), a w komorze A zachodzi nityfikacja. W fazie 4 następuje przepływ ścieków z komory B do komory A. W systemie sześciofazowym, w komorach A i B zachodzi dodatkowa podwójna nityfikacja, mająca na celu zmniejszenie ilości azotu amonowego w ściekach [Henze i in. 2000a; Klimiuk i Łebkowska 2004; Zdebik i in. 2010].

Technologia BIOBENIPHO jest technologią BIODENITRO uzupełnioną o komorę beztlenową zlokalizowaną przed komorami osadu czynnego, w której zachodzą procesy defosfatacji. Do komory beztlenowej oraz do reaktorów osad

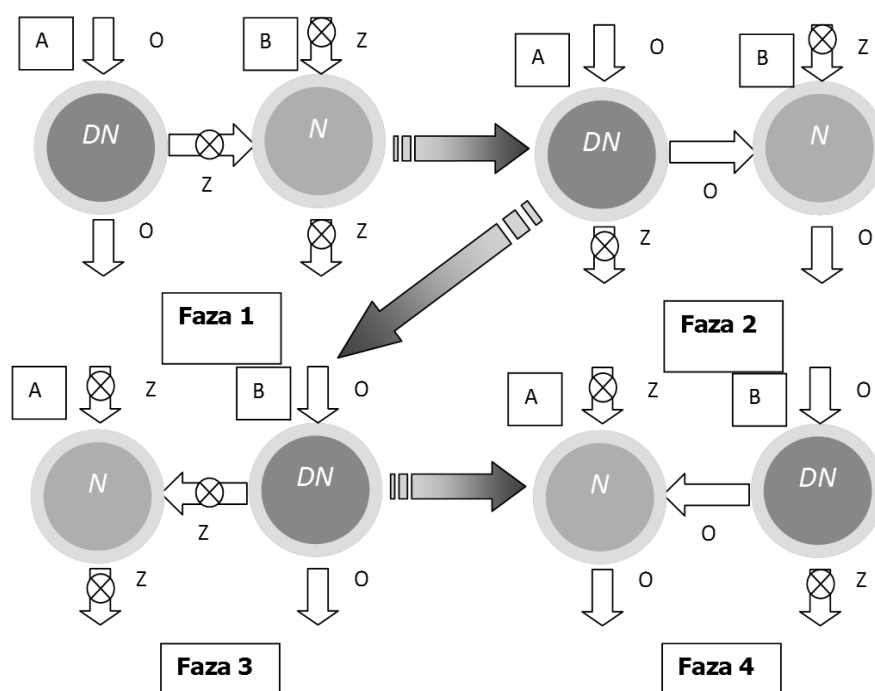
jest doprowadzany z osadników wtórnych przez pompownię osadu recyrkulowanego. Oczyszczalnia pracująca w technologii BIODENIPHO może pracować w układzie cztero- i sześciofazowym.

Czas czterofazowego cyklu wynosi:

- fazy od 1 i 3 – 30 min (maks. 90 min),
 - fazy od 2 i 4 – 60 min (maks. 120 min).
- Czas sześciofazowego cyklu wynosi:
- fazy od 1 i 4 – 30 min (maks. 90 min),
 - fazy od 2 i 5 – 120 min (maks. 120 min),
 - fazy od 3 i 6 – 30 min (maks. 120 min).

Czas ten podano dla rzeczywistych warunków pracy, jednak mogą one być wydłużone do czasu maksymalnego, na jaki pozwala układ technologiczny.

Schemat działania technologii BIODENITRO w układzie cztero- i sześciofazowym, z pominięciem komory beztlenowej, która jest częścią technologii BIODENIPHO, przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

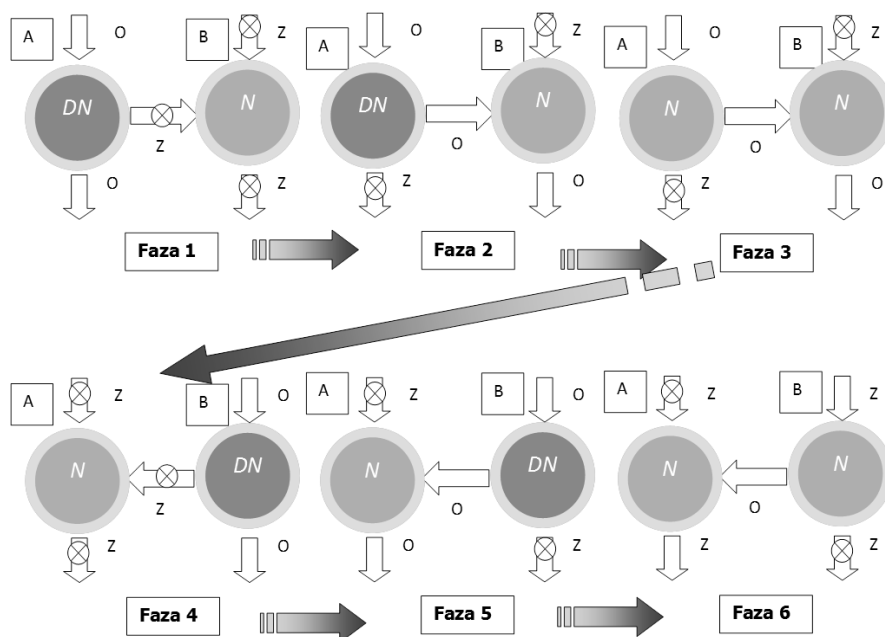


Rys. 1. Schemat technologii BIODENITRO® w układzie czterofazowym:

A, B – komory osadu czynnego, o – zasuwka otwarta, z – zasuwka zamknięta,

N – nitrifikacja, DN – denitryfikacja

Fig. 1. Scheme of the BIODENITRO® technology in the four-phase system:
A, B – activated sludge chambers, o – open valve, z – closed valve, N – nitrification,
DN – denitrification



Rys. 2. Schemat technologii BIODENITRO® w układzie sześciofazowym; oznaczenia jak na rys. 1
 Fig. 2. Scheme of the BIODENITRO® technology in the six-phase system, denotations as in Fig. 1

WYNIKI BADAŃ

Badania dobowego rozkładu frakcji ChZT w ściekach surowych, po części mechanicznej i oczyszczonych wykonano w dwóch kolejnych dniach. W pierwszym dniu badań, o godzinie 8:00 pobrano pierwszą próbkę ścieków surowych (na wlocie), kolejną ścieków oczyszczonych w części mechanicznej (po osadnikach wstępnych) o godzinie 12:00, a ostatnią ścieków oczyszczonych (na wylocie) następnego dnia o godzinie 10:00. Podczas pobierania próbek uwzględniono średniodobowy czas przepływu ścieków przez obiekty oczyszczalni.

W czasie poboru próbek przepływ średniodobowy przez oczyszczalnię wynosił 16 050 m³/d, a w części mechanicznej pracowały trzy osadniki wstępne. Część biologiczna pracowała w cyklu 4-fazowym.

Wartości frakcji ChZT po kolejnych etapach oczyszczania ścieków przedstawiono w tabeli 1. W godzinach dziennych zwiększała się ilość frakcji biologicznie łatwo i wolno rozkładalnych (XS + SS), natomiast w godzinach nocnych ilość tych frakcji ulegała zmniejszeniu. Wynikało to z dobowego rozkładu ładunku zanieczyszczeń w ściekach [Zdebik 2010].

Tab. 1. Wartości frakcji ChZT po kolejnych stopniach oczyszczania – próbki chwilowe godzinowe

Tab. 1. The values of COD fractions after next treatment steps - hourly transient samples

Miejsce poboru	Fracja ChZT	Jedn.	Godzina poboru próbki					Średn.
			8:00 – 9:00	12:00 – 13:00	16:00 – 17:00	22:00 – 23:00	4:00 – 5:00	
Wlot (ścieki surowe)	S _I	mg/l	20,0	26,8	29,5	31,5	31,9	27,9
	X _I	mg/l	146,4	67,5	83,2	95,9	58,3	90,3
	S _S	mg/l	94,0	114,2	150,5	145,5	25,2	105,9
	X _S	mg/l	439,3	202,5	249,5	287,8	174,8	270,8
Po osadnikach wstępnych	S _I	mg/l	20,0	26,8	29,5	31,5	31,9	27,9
	X _I	mg/l	50,6	47,6	52,7	43,4	32,4	45,3
	S _S	mg/l	115,0	107,2	158,5	136,5	61,1	115,7
	X _S	mg/l	151,7	142,8	158,2	130,2	97,2	136
Wylot (ścieki oczyszczone)	S _I	mg/l	20,0	26,8	29,5	31,5	31,9	27,9
	X _I	mg/l	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5
	S _S	mg/l	2,4	2,0	2,0	2,2	2,7	2,3
	X _S	mg/l	1,6	1,3	1,3	1,5	1,8	1,5

Fracja S_I (frakcja rozpuszczona biologicznie nierozkładalna) w analizowanych próbkach utrzymywała stałą wartość. W ściekach surowych stanowiła ona około 6%, a w ściekach oczyszczonych około 87% ChZT całkowitego.

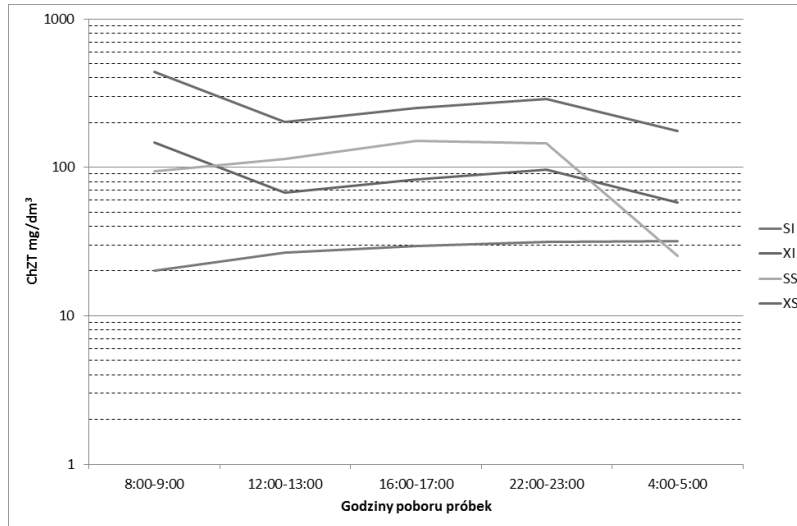
Fracja X_I (frakcja zawiesin biologicznie nierozkładalnych) była zatrzymywana głównie w części mechanicznego oczyszczania ścieków (piaskownik, osadniki wstępne) i jej zmniejszenie wynosiło około 50%. W części biologicznej (komory biologiczne, osadniki wtórne) następowało wbudowywanie i adsorpcja zawiesin wolno rozkładalnych w strukturę kłaczków osadu, a usunięcie jej wynosiło około 99%. W ściekach surowych frakcja ta stanowiła około 18%, a w ściekach oczyszczonych około 1% ChZT całkowitego.

W ściekach mechanicznie oczyszczonych nastąpił przyrost frakcji S_S (frakcja biologicznie łatwo rozkładalna) o około 9%, a w części biologicznej jej zmniejszenie o około 98%. W ściekach surowych stanowiła ona około 21%, a w ściekach oczyszczonych około 7% ChZT całkowitego.

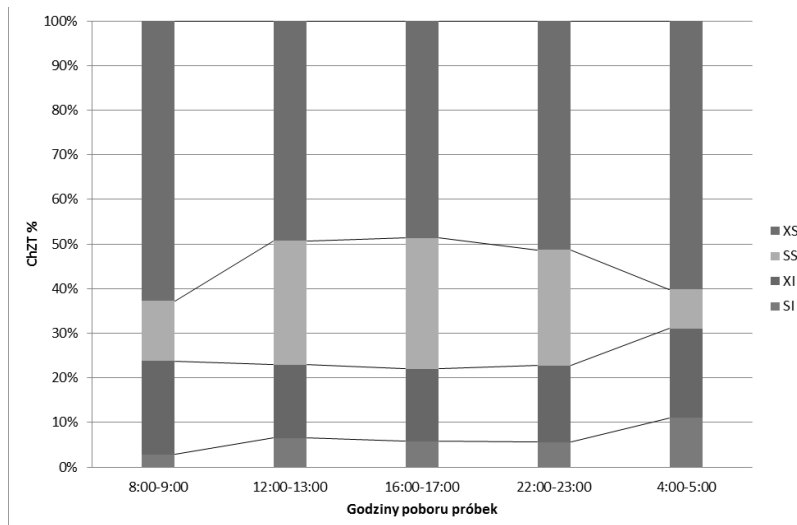
Udział frakcji X_S (frakcja biologicznie wolno rozkładalna) w ściekach oczyszczonych mechanicznie wynosił około 50%. W części biologicznej, ze względu na wydłużony czas przebywania ścieków w komorach, frakcja X_S była wykorzystywana w około 99% do procesów biologicznego oczyszczania ścieków [Zdebek 2010b]. W ściekach surowych stanowiła ona około 55%, a w ściekach oczyszczonych około 5% oznaczanych frakcji.

Na rysunkach 1-6 przedstawiono wahania frakcji ChZT w ciągu doby oraz ich procentowy udział:

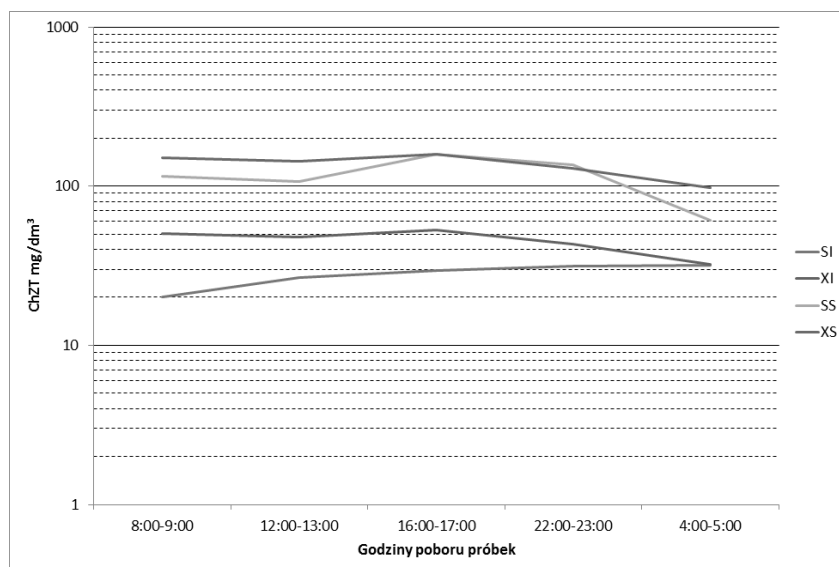
- w ściekach surowych (rys. 1 i 2),
- po oczyszczeniu mechanicznym (rys. 3 i 4),
- w ściekach oczyszczonych (rys. 5 i 6).



Rys. 1. Zmiany frakcji ChZT (S_b , X_b , S_s , X_s) w ściekach dopływających (skala osi rzędnych jest logarytmiczna)
 Fig. 1. Change of COD fractions (S_b , X_b , S_s , X_s) in inflowing wastewater (axis of ordinates scale is logarithmic)

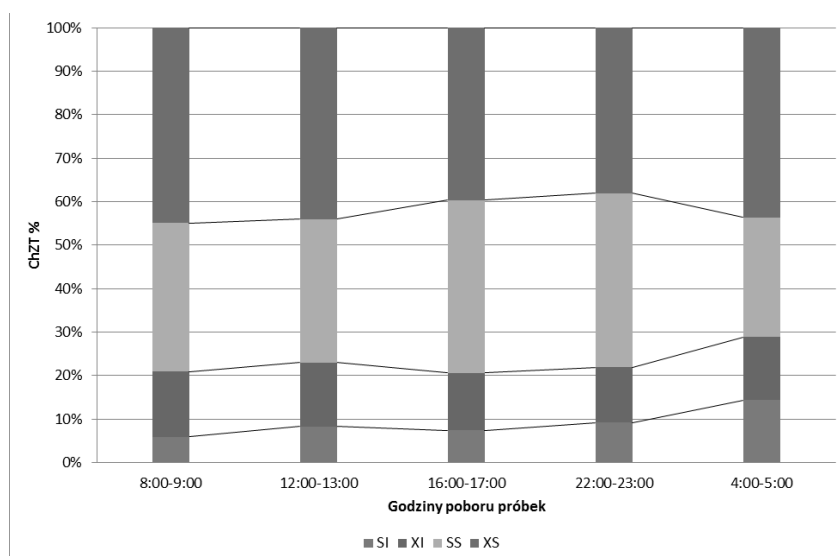


Rys. 2. Udział frakcji ChZT (S_b , X_b , S_s , X_s) w ściekach dopływających
 Fig. 2. Part of COD fractions (S_b , X_b , S_s , X_s) in inflowing wastewater



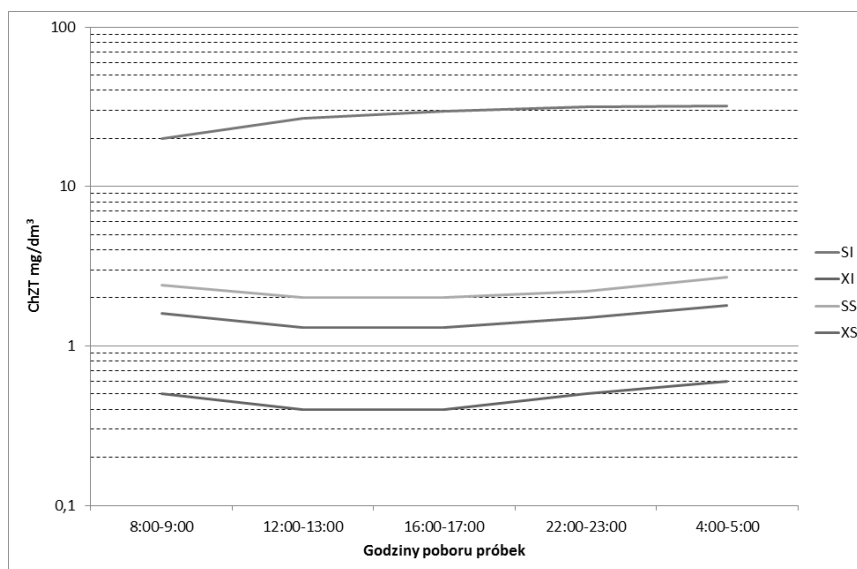
Rys. 3. Zmiany frakcji ChZT (S_b , X_b , S_s , X_s) w ściekach po oczyszczeniu mechanicznym (skala osi rzędnych jest skalą logarytmiczną)

Fig. 3. Change of COD fractions (S_b , X_b , S_s , X_s) in wastewater after mechanical treatment (axis of ordinates scale is logarithmic)



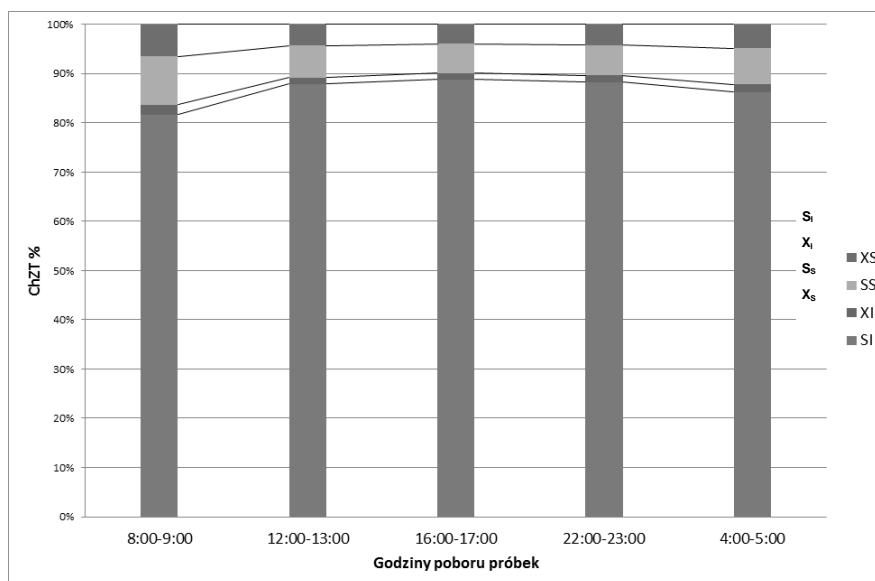
Rys. 4. Procentowy udział frakcji ChZT (S_b , X_b , S_s , X_s) w ściekach po oczyszczeniu mechanicznym – wartości średniodobowe – próbki chwilowe, godzinowe

Fig. 4. Proportional part of COD fractions (S_b , X_b , S_s , X_s) in wastewater after mechanical treatment – day average values – simple samples taken with 1 hour frequency



Rys. 5. Zmiany frakcji ChZT (S_I , X_I , S_S , X_S) w ściekach oczyszczonych (wylot) (skala osi rzędnych jest logarytmiczna)

Fig. 5. Change of COD fractions (S_I , X_I , S_S , X_S) in treated sewage (outlet) (axis of ordinates scale is logarithmic)



Rys. 6. Udział frakcji ChZT (S_I , X_I , S_S , X_S) w ściekach oczyszczonych (wylot)

Fig. 6. Part of COD fractions (S_I , X_I , S_S , X_S) in treated sewage (outlet)

Analizując rozkład frakcji ChZT w ściekach, w ciągu doby stwierdzono, że udział frakcji S_I w godzinach dziennych (12:00–13:00; 16:00–17:00) i nocnych (22:00–23:00) był stały. W godzinach rannych (8:00–9:00) ulegał zmniejszeniu, a w godzinach wczesnorannych (4:00–5:00) zwiększał się. Najmniej korzystny udział frakcji w ściekach następował w godzinach wczesnorannych (4:00–5:00), gdyż ścieki zawierały duże ilości frakcji rozpuszczonych nierozkładalnych biologicznie i w zawiesinie. W ściekach z godzin dziennych (12:00–13:00; 16:00–17:00) i nocnych (22:00–23:00) udział frakcji łatwo i wolno rozkładalnych dochodził do 80%, co korzystnie wpływało na przebieg procesów biologicznego oczyszczania ścieków.

Frakcje łatwo i wolno rozkładalne w ściekach oczyszczonych mechanicznie, które były wykorzystywane podczas biologicznego oczyszczania ścieków, w godzinach 8:00 do 23:00, stanowiły około 80% ChZT całkowitego. W godzinach wczesnorannych udział tych frakcji zmniejszał się do 70%, ze znaczącym wzrostem udziału frakcji wolno rozkładalnych. W tym okresie procesy biologicznego oczyszczania ścieków można wspomagać dozowaniem z zewnętrznego źródła węgla organicznego (ZZWO).

Analizując udział poszczególnych frakcji ChZT w ściekach oczyszczonych stwierdzono, że udział frakcji łatwo i wolno rozkładalnych w ściekach oczyszczonych był mały. Najefektywniej frakcje łatwo i wolno rozkładalne były usuwane w godzinach dziennych (od 10:00 do 22:00). W godzinach nocnych był obserwowany większy udział tych frakcji. Udział frakcji nierozkładalnej biologicznie w ściekach oczyszczonych wynosił około 87%.

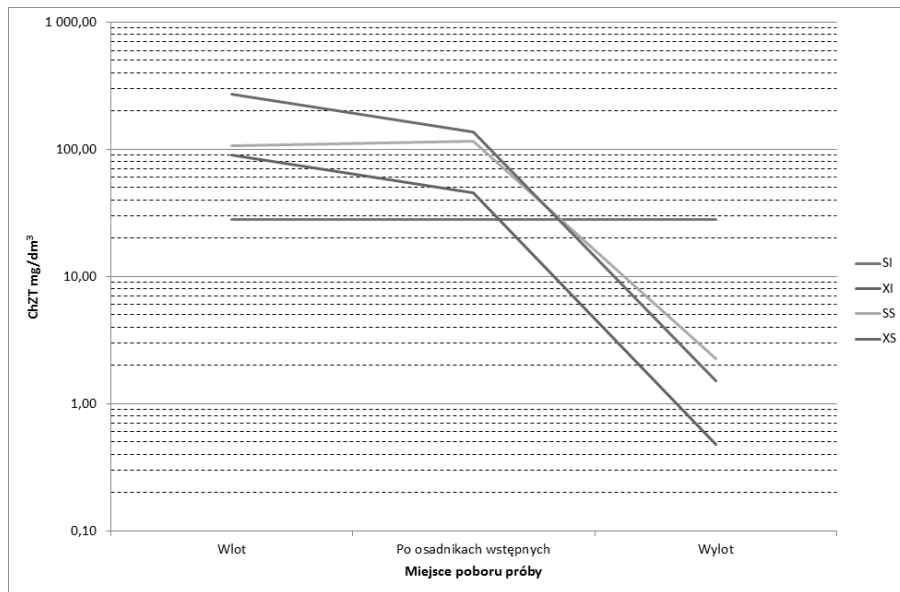
Średnie procentowe udziały poszczególnych frakcji ChZT w badanych ściekach (ścieki surowe, po oczyszczeniu mechanicznym, ścieki oczyszczone) przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Średnie udziały frakcji ChZT w badanych ściekach

Tab. 2. The average of the COD fraction in the tested wastewater

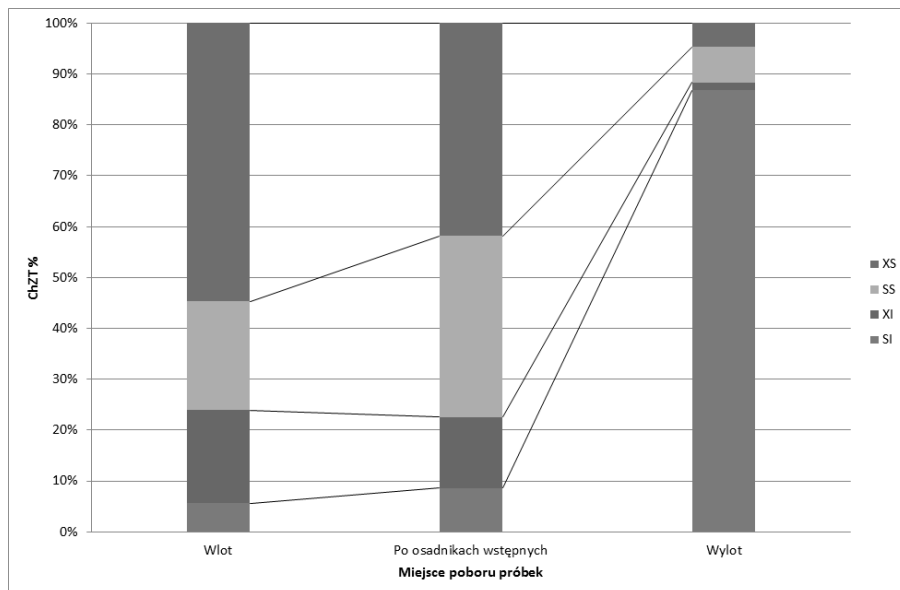
Frakcja	Ścieki surowe, %	Ścieki po oczyszczeniu mechanicznym, %	Ścieki oczyszczone, %
S _I	6,0	8,6	87,0
X _I	18,0	14,0	1,0
S _S	21,0	35,5	7,0
X _S	55,0	41,9	5,0

Uśrednione wartości frakcji ChZT w ściekach pobieranych po kolejnych stopniach oczyszczania przedstawiono na rysunku 7, a udział procentowy, obliczony w stosunku do ChZT całkowitego w próbce, na rysunku 8.



Rys. 7. Zmiany frakcji ChZT (S_I , X_I , S_S , X_S) po kolejnych stopniach oczyszczania (skala osi rzędnych jest skalą logarytmiczną)

Fig. 7. Change of concentrations of COD fractions (S_I , X_I , S_S , X_S) after succeeding stages of treatment (axis of ordinates scale is logarithmic)



Rys. 8. Udział frakcji ChZT (S_I , X_I , S_S , X_S) po kolejnych stopniach oczyszczania

Fig. 8. Part of COD fractions (S_I , X_I , S_S , X_S) after succeeding stages of treatment

PODSUMOWANIE

Analizując zmiany udziału poszczególnych frakcji ChZT w ściekach, po kolejnych etapach oczyszczania, stwierdzono, że:

- Podczas oczyszczania ścieków w części mechanicznej i biologicznej, udział procentowy frakcji SS i XS w ChZT całkowitym, które w sposób decydujący wpływają na przebieg procesów biologicznego usuwania biogenów, wynosił odpowiednio: około 53,3%, 47,1%.
- Po oczyszczaniu mechanicznym następowało duże zmniejszenie udziału frakcji rozpuszczonej łatwo rozkładalnej (SS) w odniesieniu do udziału ilościowego w ściekach surowych.
- Mały udział frakcji nierozpuszczonej, nierozkładalnej (XI) w ściekach oczyszczonych, świadczy o wbudowywaniu jej w kłaczkę osadu czynnego.
- Znaczący udział w ściekach oczyszczonych ma frakcja związków rozpuszczonych nierozkładalnych SI (87%).

Na podstawie przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że w części mechanicznej oczyszczalni następuje duże zmniejszenie biologicznie wolno rozkładalnej frakcji ChZT (XS), co powoduje deficyt ładunku związków organicznych, jaki dopływa do procesu denitryfikacji. W technologii sekwencyjno – przepływowej, ścieki dopływają do fazy denitryfikacji, w której pożądana jest obecność łatwo przyswajalnego węgla w formie rozpuszczonej, jakiej zawiesin wolno rozkładalnych. Wyniki badań mogą być praktycznie wykorzystane do optymalizacji czasu zatrzymania ścieków w części mechanicznej poprzez wprowadzenie pracy na jednym, dwóch lub trzech osadnikach wstępnych.

LITERATURA

1. EKAMA G.A, DOID P.L., MARAIS G.v.R.: *Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of heterotrophs in activated sludge systems*. Water Science Technology Vol. 18, 1986
2. KALINOWSKA E., BONAR G., DUMA J.: *Zasady i praktyka oczyszczania ścieków*. Kraków, LEMTECH Konsulting, 2005
3. ŁOMOTOWSKI J., SZPINDOR A.: *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Warszawa, Wydaw. Arkady, 1999
4. IWA.: *Methods for Wastewater Characterization in Activated Sludge Modeling*. Water Environment Federation 2003
5. MYSZOGRAJ S., SADECKA Z.: *Frakcje ChZT w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków w Sulechowie*. Rocznik Ochrony Środowiska T. 6, s. 233-244, 2004

6. OLESZKIEWICZ J.: *Warsztaty szkoleniowe, Podniesienie jakości odpływu do normatywu Unii Europejskiej: P<1 mg/l; N<10 mg/l*. Kraków, LEM-TECH Konsulting, 2007
7. PN-74/C-04578/03 *Oznaczanie chemicznego zapotrzebowania na tlen metodą dwuchromianową*
8. Wytyczne ATV-DVWK-A 131P.: *Wymiarowanie jednostopniowych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym*. Warszawa, Wydaw. Seidel-Przywecki, 2000
9. ZDEBIK D., KORCZAK K., GŁODNIOK M.: *Modelowanie usuwania biogenów w procesie biologicznego oczyszczania ścieków w technologii sekwencyjno-przepływowej*. Prace naukowe GIG Górnictwo i Środowisko Katowice, nr 2, 2010a
10. 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 Katowice, nr 4, 2010b

THE RESULTS OF STUDIES OF WASTEWATER SUSCEPTIBILITY ON BIOLOGICAL DECOMPOSITION ON AN EXAMPLE OF WASTE WATER TREATMENT PLANT OPERATED IN THE SEQUENTIAL-FLOW TECHNOLOGY

S u m m a r y

In this paper were described the results of research aimed at identifying the contribution fraction of COD in raw wastewater, after the mechanical treatment and in treated sewage. The total COD was analyzed by the fraction of dissolved organic compounds easily absorbed, persistent dissolved organic compounds, slowly degradable organic suspended solids and biologically non-degradable organic suspensions. Changes in the share of individual fractions of COD per day were discussed. The research indicated that in the mechanical part of WWTP provides a large reduction of organic suspensions - slowly biodegradable COD fraction, which affects the biological processes of reduction of biogenic compounds in wastewater.

Key words: COD fractions, sequential-flow technology