

Fracje ChZT w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni ścieków w Sulechowie

Sylwia Myszograj, Zofia Sadecka
Uniwersytet Zielonogórski

1. Wstęp

Optymalizacja procesów biologicznego usuwania związków biogennych, rozwój modeli matematycznych opisujących usuwanie związków azotu i fosforu, wymagają coraz więcej informacji dotyczących składu oczyszczanych ścieków.

W biologicznym oczyszczaniu ścieków z usuwaniem związków biogennych, najważniejszą rolę odgrywają mikroorganizmy. Dla prawidłowego ich metabolizmu, iloraz C:N:P, powinien wynosić około 20:4:1. Istotne jest, aby każdy z tych pierwiastków występował w formach przyswajalnych dla mikroorganizmów. Zawartość łatwo przyswajalnych substancji pokarmowych, można określić przez szczegółowe pomiary frakcji zawieszonych i rozpuszczonej ChZT. Analiza taka może być wykorzystana również do określenia założeń do projektowania i eksploatacji biologicznych procesów usuwania związków biogennych.

2. Frakcje ChZT w ściekach

Projektowanie technologicznych układów oczyszczania ścieków, w większości przypadków odnosi się do wartości stężeń substancji organicznej, podatnej na rozkład biologiczny, wyrażonej w BZT₅. Natomiast znajomość frakcji ChZT pozwala dodatkowo ocenić ilość zanieczyszczeń nie biodegradowalnych, które zmniejszają efektywność biologicznego oczyszczania ścieków. Dlatego w projektowaniu i modelowaniu systemów usuwania związków biogennych korzystniej jest stosować podział ChZT całkowitego w ściekach surowych, na frakcje zawieszony i rozpuszczone. Podział ten, pozwala w dalszym etapie obliczyć udział poszczególnych form azotu, występujących w ściekach

bytowo-gospodarczych. ChZT ścieków, z podziałem na frakcje można obliczać wg podanej zależności [6]:

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

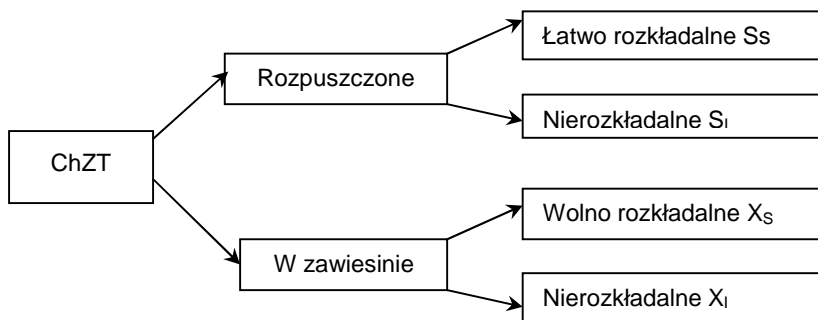
S_S – ChZT rozpuszczonych związków organicznych biologicznie łatwo rozkładalnych,

S_I – ChZT rozpuszczonych związków organicznych biologicznie nierozkładalnych,

X_S – ChZT zawiesin organicznych wolno rozkładalnych,

X_I – ChZT zawiesin organicznych biologicznie nierozkładalnych.

Podstawowy podział ChZT na frakcje przedstawiono na rysunku 1 [2]:

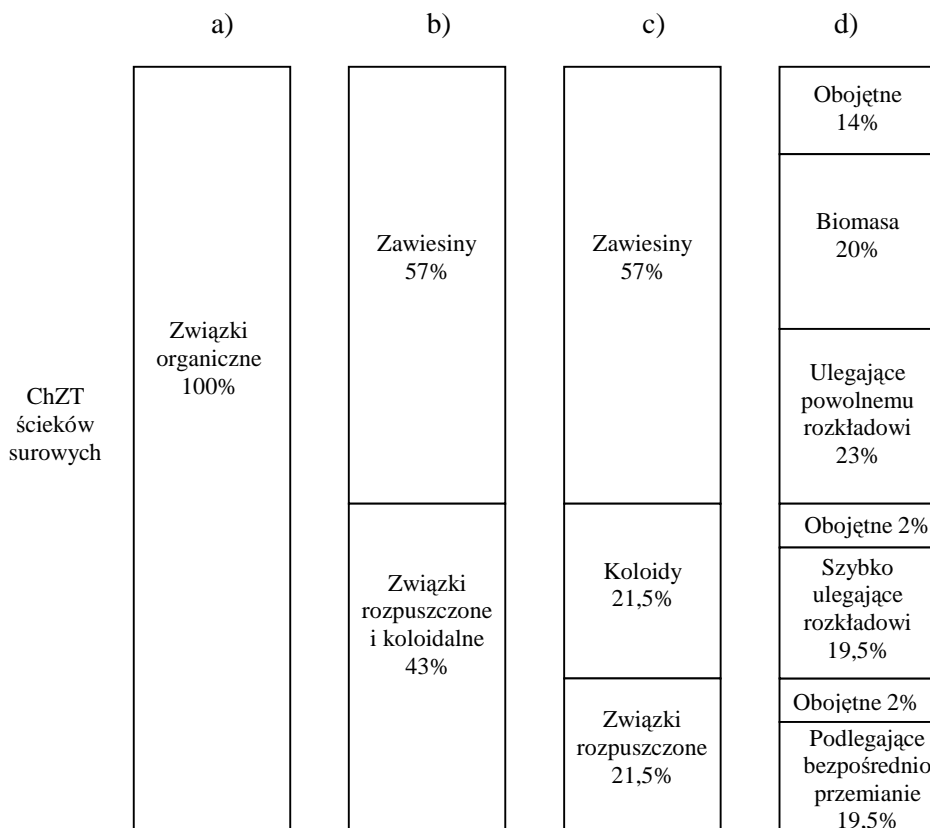


Rys. 1. Podział ChZT całkowitego w ściekach bytowo-gospodarczych na frakcje [2]

Fig. 1. Division of total COD into fractions in domestic sewage [2]

Określenie podziału fazowego zanieczyszczeń, na substancje rozpuszczone i zawieszony można dokonać metodą filtracji [2]. W zależności od rodzaju ścieków udział poszczególnych frakcji ChZT może być bardzo różny, a procentowe udziały składników organicznych w ChZT całkowitym przedstawiono na rysunku 2 [1].

Problem dotyczący określenia frakcji ChZT, wynika z braku definicji, na podstawie której jednoznacznie można by ustalić podział zanieczyszczeń na ciała rozpuszczone i zawieszony. Przez jednych autorów [3] frakcja koloidalna klasyfikowana jest do zawieszony, a przez innych do substancji rozpuszczony [4]. W przypadku pierwszego podziału, autorzy podają, że udział procentowy zawieszonyj frakcji, obecnej w całkowitym ChZT ścieków bytowo-gospodarczych, wynosi średnio 65÷79%, a rozpuszczonej 21÷35% [6].



Rys. 2. Procentowy udział składników organicznych w ChZT całkowitym ścieków bytowo-gospodarczych [1]; a) model klasyczny, b) model postklasyczny, c) model uwzględniający stan skupienia związków organicznych, d) model uwzględniający podatność związków organicznych na biologiczny rozkład

Fig. 2. Percentage contribution of organic components in total COD of domestic sewage [1] a) classical model, b) postclassical model, c) model considering the state of aggregation of organic compounds, d) model considering bio-degradability of organic compounds

Zwolennicy przyporządkowania frakcji koloidów do związków rozpuszczonych podają, że udział procentowy zawiesin w ściekach bytowo-gospodarczych wynosi średnio około 57% ChZT, a koloidów i substancji rozpuszczonych łącznie około 43% (rysunek 2b). Związki organiczne biodegradowalne stanowią średnio 39% wszystkich substancji organicznych w ściekach, a niepodatne na biologiczny rozkład – około 61% [6].

Przyjmuje się hipotetycznie, że frakcja rozpuszczona łatwo rozkładalna S_s składa się z substancji, które mogą być bezpośrednio przyswajane i metabolizowane przez organizmy (np. bakterie heterotroficzne) dla potrzeb syntezy i pozyskiwania energii. Jednak, aby mogły być wykorzystane przez mikroorganizmy, muszą wcześniej ulec hydrolizie [5]. Zakłada się, że frakcja wolno rozkładalna X_s , jest utworzona z materiału cząsteczkowego (koloidalnego) i złożonych cząsteczek organicznych, które przed wykorzystaniem wymagają rozbicia, przez enzymy zewnątrzkomórkowe. Podobnie jak frakcja rozpuszczona S_s , również X_s ma duży wpływ na dynamikę procesu osadu czynnego [2]. Sądzi się, że materia nierozkładalna, rozpuszczona jak i obecna w zawiesinie, nie ulega zmianom w biologicznym tlenowym oczyszczaniu ścieków [2]. Frakcja X_1 łączy się z kłaczkami osadu czynnego lub z błoną rozwijającą się w złożach biologicznych i może być usuwana z osadem nadmiernym. Jednak kłaczkami mają ograniczoną możliwość adsorpcyjną i nie potrafią selektywnie wiązać tylko substancji nierozkładalnych, co ogranicza eliminację tego rodzaju zanieczyszczeń [6]. W procesie osadu czynnego, frakcja nierozkładalna rozpuszczona S_1 opuszcza system w odpływie z osadnika wtórnego, w stężeniu równym stężeniu w dopływie [2].

3. Materiały i metody badań

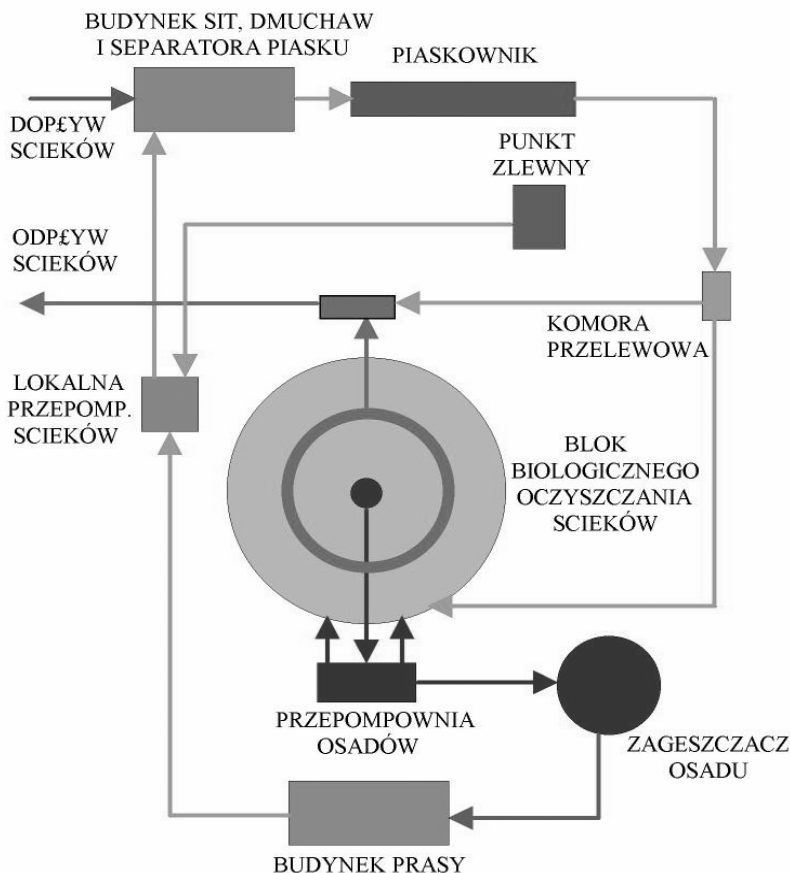
Celem pracy było wyznaczenie frakcji ChZT i ich zmian w ściekach bytowo-gospodarczych, po kolejnych etapach mechaniczno-biologicznego oczyszczania.

Badania przeprowadzono w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków dla miasta Sulechów. Średni dobowy dopływ ścieków surowych do oczyszczalni w okresie pomiarów wynosił $2822 \text{ m}^3/\text{d}$. Podstawę oczyszczania stanowi technologia niskoobciążonego osadu czynnego w układzie cyrkulacyjnym (rysunek 3).

W komorze napowietrzania symultanicznie zachodzą procesy nityfikacji, denityfikacji oraz chemicznej defosfatacji. Ścieki oczyszczone odpływają kanałem do odbiornika, którym jest ciek Sulechówka i dalej rzeka Odra.

Do wykonania analiz fizyczno-chemicznych pobrano następujące próbki ścieków:

1. ścieki surowe,
2. ścieki po sitach,
3. ścieki po piaskowniku,
4. ścieki oczyszczone,
5. osad recykulowany
6. ciecz nadosadowa z zagęszczacza grawitacyjnego,



Rys. 3. Układ technologiczny urządzeń oczyszczalni ścieków w Sulechowie
Fig. 3. Technological arrangement of the appliances of the sewage treatment plant in Sulechów

Oznaczenia wykonano w okresie letnim 2002 r., w dwóch seriach.

Metodyka określenia frakcji ChZT została opracowana na podstawie wytycznych ATV-131 [9].

1. W celu wyznaczenia frakcji rozpuszczonej biologicznie nierozkładalnej S_1 , próbkę ścieków oczyszczonych poddano odwirowaniu w wirówce przy $RMP = 3000$ obr./min. przez 10 minut. Po zdekantowaniu sklarowane ścieki, przesączono przez bibułowy sącdek twardy $0,45 \mu m$, a następnie oznaczono ChZT ścieków metodą dwuchromianową [10].
2. Stężenie organicznych zanieczyszczeń rozpuszczonych S_{ChZT} określono w ściekach surowych sączonych, wg metodyki opisanej w punkcie 1.

3. Frakcję biologicznie łatwo rozkładalną S_S wyznaczono jako różnicę ogólnej liczby zanieczyszczeń organicznych rozpuszczonych S_{ChZT} i zanieczyszczeń organicznych biologicznie nierozkładalnych S_I :

$$S_S = S_{ChZT} - S_I, [\text{mg O}_2/\text{dm}^3] \quad (2)$$

4. W celu oznaczenia frakcji zawiesin organicznych wolno rozkładalnych X_S , wyznaczono doświadczalnie BZT_5 ścieków surowych nie sączonych, a następnie (przyjmując stałą szybkość biochemicznego rozkładu $k_1 = 0,6$) obliczono BZT całkowite (BZT_C):

$$BZT_C = \frac{BZT_5}{0,6}, [\text{mg O}_2/\text{dm}^3] \quad (3)$$

Mając określoną wartość BZT_C oraz wartość rozpuszczonej frakcji biologicznie łatwo rozkładalnej S_S , frakcję zawiesin wolno rozkładalnych X_S wyznaczono z równania [2,4]:

$$X_S = BZT_C - S_S, [\text{mg O}_2/\text{dm}^3] \quad (4)$$

5. Całkowite stężenie substancji organicznych w zawieszynie określono korzystając z zależności podanej w normie ATV-131 [9]:

$$X_I = A \times X_{ChZT}, [\text{mg O}_2/\text{dm}^3] \quad (5)$$

Przy czym, w zależności od rodzajów ścieków, lub też od czasu zatrzymania ścieków w osadniku wstępnym, wartość współczynnika A może zmieniać się od 0,2 do 0,35. Dla ścieków bytowo-gospodarczych przyjmuje się $A = 0,25$ [9]. Podstawiając do równania $X_{ChZT} = X_S + X_I$ zależność $X_I = 0,25 \times X_{ChZT}$, otrzymano:

$$X_{ChZT} = \frac{X_S}{0,75}, [\text{mg O}_2/\text{dm}^3] \quad (6)$$

6. Frakcję zawiesin biologicznie nierozkładalnych X_I określono z różnicy parametrów X_{ChZT} i X_S :

$$X_I = X_{ChZT} - X_S [\text{mg O}_2/\text{dm}^3] \quad (7)$$

7. W celu sprawdzenia dokładności i wiarygodności wyników wykonano oznaczenie $ChZT$ ścieków surowych i oczyszczonych metodą dwuchromianową [10].

4. Wyniki badań

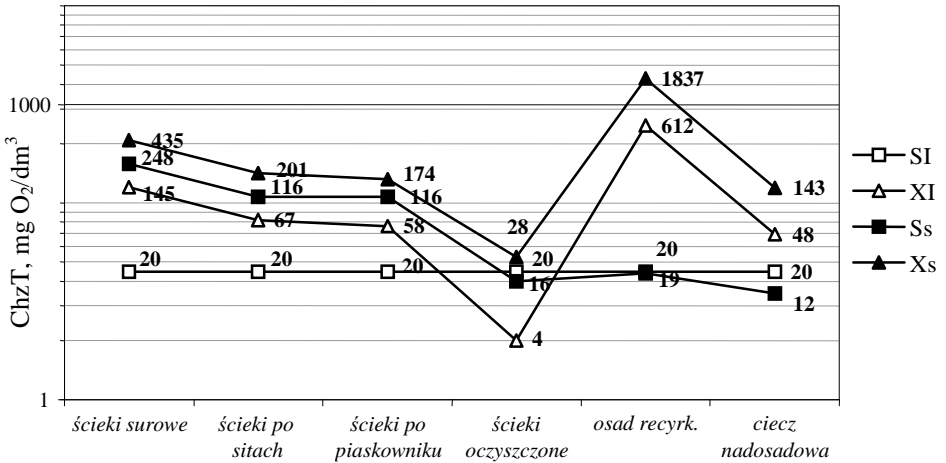
Wartości frakcji ChZT dla ścieków pobieranych po kolejnych stopniach oczyszczania, wyznaczone zgodnie z podaną metodyką, przedstawiono na rysunku 4, a ich udział procentowy, obliczony w stosunku do ChZT całkowitego w próbie, na rysunku 5. Na rysunkach przedstawiono również powyższe parametry dla osadu recykulowanego i cieczy nadosadowej, odprowadzonej z zagęszczacza grawitacyjnego.

W I serii pomiarów stężenie ChZT ścieków dopływających do oczyszczalni wynosiło $848 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$, a w ściekach oczyszczonych $68 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ (obniżenie o 91,2%). Natomiast w II serii pomiarów wartość stężenia ChZT w ściekach surowych była o około 25% większa i wynosiła $1056 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$. Stężenia frakcji ChZT, charakteryzujących ilość substancji organicznych rozpuszczonych w ściekach surowych, w I i II serii badań były porównywalne i wynosiły: S_S odpowiednio $248 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ i $240 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$, a S_I odpowiednio $20 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ i $28 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$.

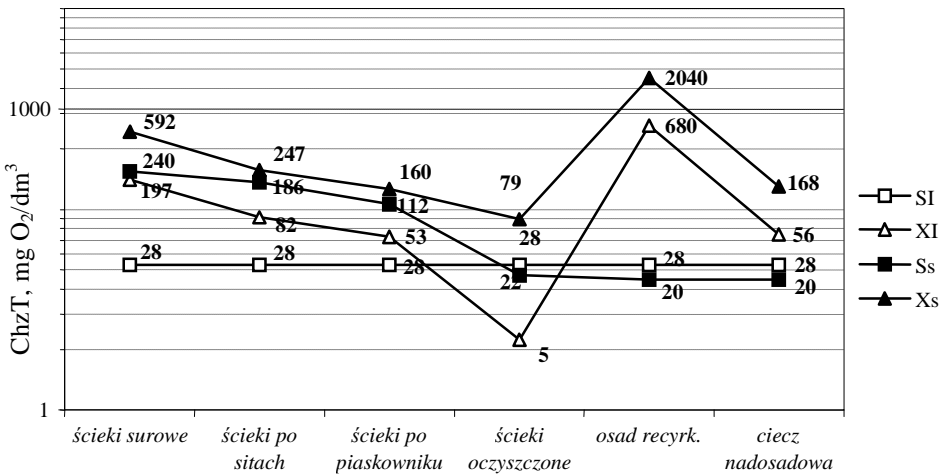
Analizując zmiany udziału poszczególnych frakcji ChZT w ściekach (rysunki 4 i 5), po kolejnych etapach oczyszczania stwierdzono, że:

- zarówno w I, jak i w II serii pomiarów udział procentowy poszczególnych frakcji ChZT, pomimo różnych wartości stężeń, był porównywalny,
- w ściekach surowych około 50% całkowitego ChZT stanowiła frakcja zawieszin organicznych wolno rozkładalnych. W związku z tym, uzyskana skuteczność usuwania ChZT całkowitego po części mechanicznej była spowodowana oddzieleniem zawiesiny na sitach (I seria: dopływ $435 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$, po sitach $201 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$). W dalszym etapie oczyszczania mechanicznego w układzie sita-piaskownik, uzyskany efekt usunięcia ChZT był więc już nieznaczny (I seria: po piaskowniku $174 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$),
- w ściekach oczyszczonych mechanicznie, stwierdzono nieznaczne zmniejszenie stężenia frakcji rozpuszczonej rozkładalnej S_S , w odniesieniu do udziału tych frakcji w ściekach surowych,
- udział nie rozpuszczonej, nierozkładalnej frakcji ChZT (X_I) – wzrósł z 15,8% (w ściekach po piaskowniku) do 24,6% (w osadzie recykulowanym). Zmiana ta wynika łącznie z faktu, że ładunek zanieczyszczeń w zawieszinie nierozkładalnej ulegał sorpcji na kłaczkach osadu czynnego i w znacznej części był odprowadzany wraz z osadem nadmiernym. Udział tej frakcji w ściekach oczyszczonych zmalał do około 5%,
- stężenie frakcji S_I związków rozpuszczonych nie rozkładalnych wynosiło odpowiednio w I serii $20 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$, a w serii II $28 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ i nie ulegało zmianie po kolejnych stopniach oczyszczania ścieków.

a)



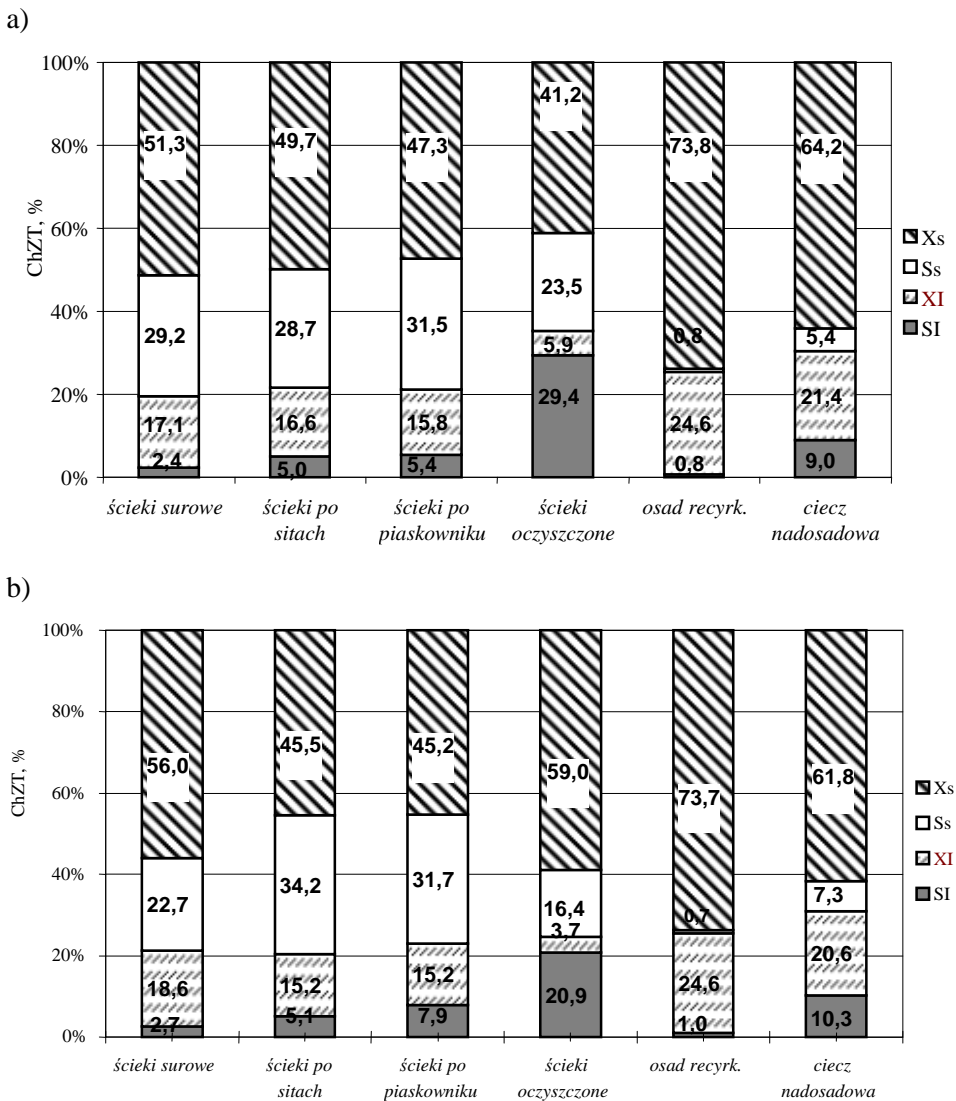
b)



Rys. 4. Zmiany stężeń frakcji ChZT (S_1 , X_1 , S_s , X_s) w ściekach bytowo-gospodarczych po kolejnych stopniach oczyszczania; a) I seria badań, b) II seria badań;

Uwaga: skala osi rzędnych jest skalą logarymiczną

Fig. 4. Changes of the COD fractions (S_1 , X_1 , S_s , X_s) concentration in domestic sewage after subsequent stages of sewage treatment; a) I series of tests b) II series of tests; *Note: the scale of ordinates axis is logarithmic*



Rys. 5. Procentowy udział frakcji ChZT (S_1 , X_1 , S_S , X_S) w ściekach bytowo-gospodarczych po kolejnych stopniach oczyszczania;
 a) I seria badań, b) II seria badań

Fig. 5. Percentage contribution of COD fractions (S_1 , X_1 , S_S , X_S) in domestic sewage after subsequent stages of sewage treatment;
 a) I series of tests b) II series of tests

Udział procentowy poszczególnych frakcji ChZT w ściekach surowych określony przez Kappeler'a, Gujer'a [7] i Grupę IWA oraz metodami uproszczonymi (Kalinowska i Oleszkiewicz [4], Ekama [7]) w porównaniu z wartościami wyznaczonymi w pracy zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Udział poszczególnych frakcji w całkowitym stężeniu ChZT ścieków surowych, określony w pomiarach w porównaniu z danymi literaturowymi [4,7]

Table 1. Contribution of particular fractions in total concentration of COD in raw sewage, determined in measurements and compared to bibliography data [4,7]

Fracja	Dane własne [%]		Kappeler, Gujer [%]	Ekama [%]	Grupa IWA [%]	Kalinowska, Oleszkiewicz [%]
	Seria I	Seria II				
S_S	29,2	22,6	9,0	20,0÷25,0	25,0	12,5÷25,0
S_I	2,4	2,7	11,0	8,0÷10,0	10,0	8,0÷10,0
X_S	51,3	56,0	58,0	60,0÷65,0	45,0	50,0
X_I	17,1	18,7	22,0	5,0÷7,0	15,0	15,0

Dla ścieków bytowo-gospodarczych oczyszczanych w Sulechowie, wyznaczone wartości poszczególnych frakcji ChZT są podobne do wartości podawanych w literaturze.

5. Wnioski

Analiza wykonanych pomiarów oraz obliczeń pozwala na następujące stwierdzenia:

1. W ściekach surowych doprowadzanych do oczyszczalni w Sulechowie około 80% ChZT całkowitego stanowiły frakcje biologicznie rozkładalne: związane w zawiesinie X_S i rozpuszczone S_S .
2. Obok przemian biochemicznych, na zmiany udziałów frakcji X_I , S_S , X_S w całkowitym ChZT ścieków bytowo-gospodarczych znacząco wpływał proces cedzenia na sitach.
3. W analizowanym układzie mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków w Sulechowie wartość frakcji nierozkładalnej rozpuszczonej S_I nie ulegała zmianom po kolejnych stopniach oczyszczania.
4. Wartości procentowego udziału frakcji S_I , X_I , S_S , X_S w całkowitym ChZT ścieków surowych z miasta Sulechów są zgodne z wartościami podawanymi w literaturze.

Literatura

1. **Bogdańska D.:** *Elementy składowe ChZT w ściekach komunalnych na przykładzie miasta Zielona Góra*. Praca magisterska, WILiŚ, Uniwersytet Zielonogórski 2002
2. *Filozofia projektowania a eksploatacja oczyszczalni ścieków*. Materiały seminarium szkoleniowego. Lem Projekt s.c. Kraków, 28÷29.06.2000.
3. **Henze M., Harremoes P., Jansen J., Arvin E.:** *Oczyszczanie ścieków. Procesy biologiczne i chemiczne*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2000.
4. **Kalinowska E., Oleszkiewicz J.:** *Od projektowania do eksploatacji oczyszczalni ścieków. Optymalizacja poprzez symulację i modelowanie*. Międzynarodowe seminarium szkoleniowe. Charakterystyka ścieków surowych: Nie ma „typowych” ścieków. LEMtech Konsulting. Warszawa 2001.
5. **Kappeler J., Gujer W.:** *Estimation of kinetic parameters of heterotrophic biomass under aerobic conditions and characterization of wastewater for activated sludge modeling*. Wat. Sci. Tech. Vol. 25, No 6, pp. 125÷139, 1992.
6. **Łomotowski J., Szpindor A.:** *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Arkady, Warszawa 1999.
7. *Metody oznaczania wskaźników zanieczyszczeń organicznych w wodzie i ściekach*. Seminarium szkoleniowe VII edycja. Politechnika Krakowska, Kraków 09.2002.
8. **Mudrack K., Kunst S.:** *Biologie der Abwasserreinigung*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart 1994.
9. **Wytyczne ATV–DVWK–A 131 P.:** *Wymiarowanie jednostopniowych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym*. Wydawnictwo Seidel – Przywecki, 05.2000.
10. PN-74/C-04578/03 – *Oznaczanie chemicznego zapotrzebowania tlenu metodą dwuchromianową*.

COD Fractions In Mechanical-Biological Sewage Treatment on the Basis of Sewage Treatment Plant In Sulechów

Abstract

The optimization of sewage treatment as well as the development of mathematical models describing biological processes of removing compounds of biological origin, require increasing amount of information concerning the composition of purified sewage.

In biological sewage treatment, microorganisms play the most important role. For their correct metabolism the proportion C:N:P should amount about 20:4:1. It is essential that all the elements occur in forms available for the microorganisms. In the majority of cases, designing the technological systems of sewage treatment refers to the values of concentrations of bio-degradable organic substance, expressed in BOD₅. Whereas identification of COD fractions, additionally allows the evaluation of the amount of impurities which are not bio-degradable and which decrease the efficiency of biological treatment.

The aim of the paper was to analyse COD fractions and their alterations in domestic sewage after subsequent stages of mechanical-biological treatment on the basis of the sewage treatment plant in Sulechów. Average daily raw sewage inflow to the treatment plant during research was 2822 m³/d.

For the physicochemical analysis following samples of sewage were collected: raw sewage, sewage after sieves, sewage after desander, treated sewage, recirculated sludge, sewage from gravitational thickener. The following fractions of COD were determined: dissolved non-degradable biologically S₁, dissolved easily biodegradable S_S, in organic suspension slowly degradable X_S, in organic suspension non-degradable biologically X_I.

Analysis of carried out measurements and calculations allows to draw following conclusions:

1. About 80% of total COD in the raw sewage inflowing to the sewage treatment plant in Sulechów were fractions biologically degradable: bound in suspension X_S and dissolved S_S.
2. Apart from biochemical transformations the process of straining on the sieves significantly influenced changes of contribution of fractions X_I, S_S, X_S in the total COD of domestic sewage.
3. In the analysed mechanical and biological sewage treatment plant in Sulechów value of non-degradable dissolved fraction S₁ was not changing after subsequent stages of sewage treatment.
4. Values of percentage contribution of S₁, X_I, S_S, X_S fractions in the total COD of the raw sewage from Sulechów town are compliant to values given in the literature.