

Obieg związków organicznych i form azotu w oczyszczalni ścieków z reaktorem przepływowym

*Joanna Struk-Sokołowska
Politechnika Białostocka*

1. Wstęp

W ostatnich latach nasilono działania w kierunku poprawy jakości wód powierzchniowych, do których trafiają ścieki z oczyszczalni. Odprowadzanie do odbiorników otwartych ścieków bez oczyszczenia, stanowiłoby ogromne zagrożenie dla środowiska. W ostatnich latach zaczęto poważnie traktować zagrożenia wynikające z zanieczyszczenia wód powierzchniowych i szukać odpowiednich rozwiązań. Wynikiem szeroko prowadzonych działań jest ciągle wzrastająca liczba nowych i nowoczesnych oczyszczalni ścieków [1, 4, 5].

Badania fizyko-chemiczne ścieków wykonywane są najczęściej w celu kontroli pracy oczyszczalni oraz analizy właściwości ścieków dopływających i odpływających z oczyszczalni. Jednorazowe pobieranie próbek ścieków np.: w dopływie i odpływie z oczyszczalni nie wystarcza do prawidłowej oceny jej pracy, dlatego konieczne jest pobieranie prób ścieków po każdym etapie oczyszczania [6].

Podjęte badania miały na celu zapoznanie się z obiegiem związków organicznych w ściekach, w tym ogólnego węgla organicznego i różnych form azotu w oczyszczalni ścieków typu Bioblok. Jest to tym bardziej ważne, że OWO uważany jest obecnie za najlepszy miernik ilości związków organicznych w ściekach.

2. Charakterystyka oczyszczalni ścieków w Mońkach

Oczyszczalnia ścieków w Mońkach pracuje w oparciu o metodę nisko-obciążonego osadu czynnego z usuwaniem związków biogennych. Ścieki byto-

wo-gospodarcze dopływające do oczyszczalni kierowane są przez istniejącą komorę zasuw, wyposażoną w kratę rzadką, do przepompowni ścieków surowych. Z komór czerpalnych pompowni ścieki są podawane na obiekty technologiczne oczyszczalni.

Pierwszym urządzeniem do mechanicznego oczyszczania ścieków jest piaskownik, o przepływie poziomym wyposażony w zespół krat mechanicznych, służący do oddzielenia grubych zawiesin (skratek) oraz piasku. Przed piaskownikiem znajduje się komora przepływowa służąca do wyrównania składu oraz uspokojenia przepływu dopływających ścieków. Piaskownik składa się z dwóch komór wyposażonych w automatyczne kraty schodkowe, zgarniacza łańcuchowego oraz zastawek służących do regulacji przepływu ścieków. Oddzielony piasek transportowany jest do pomieszczenia odbioru (budynek piaskownika), gdzie zrzucany jest do przyczepy ciągnikowej podstawianej pod otwory w stropie. Zatrzymane na kratkach grubsze zawiesiny usuwane są mechanicznie i trafiają do stalowych rynien, którymi są transportowane do pneumatycznego podajnika komorowego z dolnym rozładunkiem (workowanie). Napęd oraz sterowanie podajnika następuje za pomocą instalacji sprężonego powietrza [3].

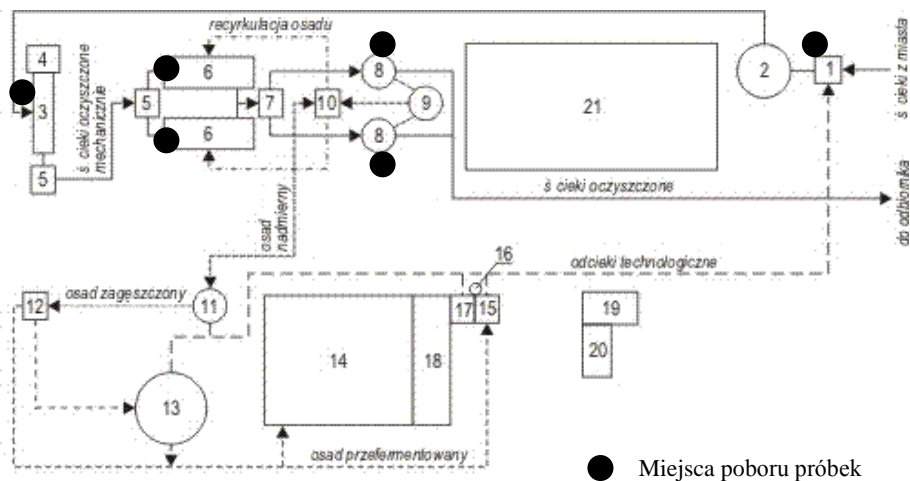
Oczyszczone mechanicznie ścieki przepływają grawitacyjnie do komory rozdziału na zespoły oczyszczalni oraz komory rozdziału ścieków przez przepływomierze na bloki reaktorów biologicznych. Zadaniem pierwszej komory jest rozdział ścieków na poszczególne zespoły oczyszczalni z możliwością doprowadzenia ścieków z dowolnego koryta piaskownika. Druga komora wykonana w konstrukcji betonowej służy do rozdziału oraz pomiaru ilości odpływających ścieków na poszczególne zespoły komór osadu czynnego.

W zasadniczej części oczyszczalni (zablokowanych komorach reakcji) ścieki oczyszczane są metodą osadu czynnego z jednoczesnym usuwaniem związków biogennych. W reaktorach biologicznych typu BIOBLOK PS wydzielone zostały następujące komory:

- defosfatacji,
- denitryfikacji,
- nityfikacji,
- odgazowania ścieków.

Usuwanie związków biogennych w procesie z osadem czynnym realizowane jest dzięki zastosowaniu odpowiednich, naprzemiennych warunków tlenowych oraz beztlenowych w poszczególnych wydzielonych strefach bioreaktorów oraz wewnętrznej cyrkulacji ścieków, która zapewnia niezbędne źródło pokarmu bakteriom usuwającym związki biogenne [3]. W układzie tym zastosowano dwa układy wewnętrznej recyrkulacji ścieków:

- z komór denitryfikacji do komór defosfatacji,
- z komór odgazowania do komór denitryfikacji.



OBIEKTY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

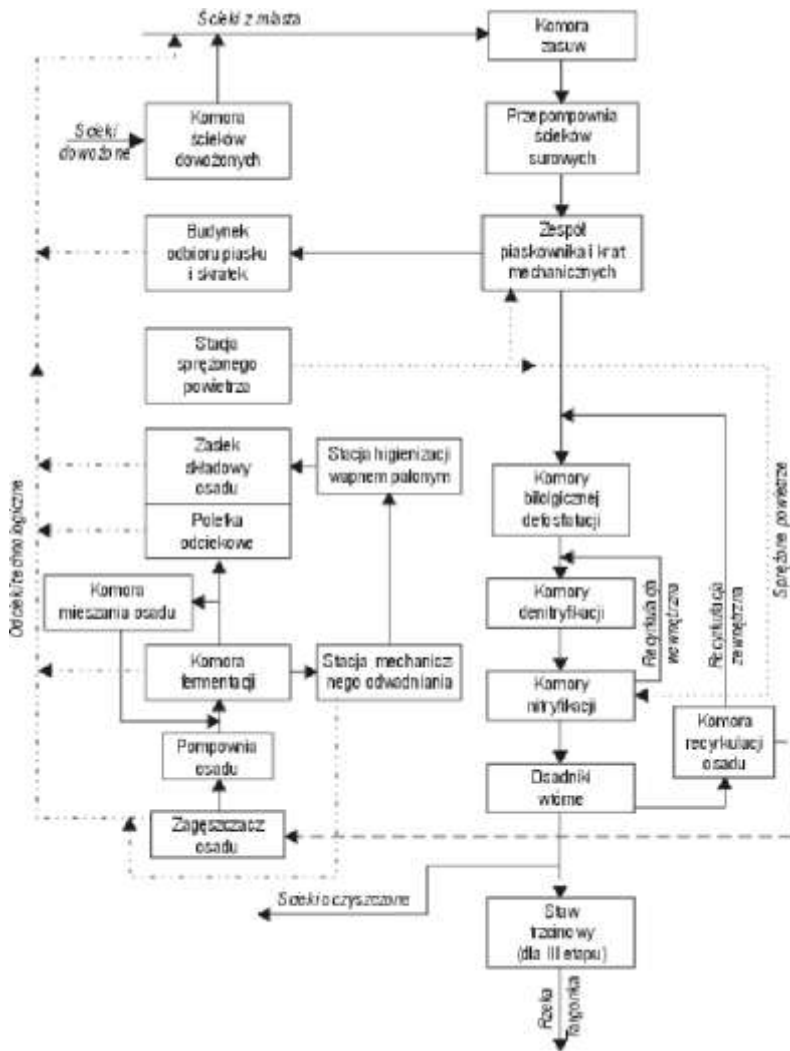
- | | | |
|--|---------------------------------------|--|
| 1. Komora krat rzadkich | 8. Osadnik wtórny | 14. Poletka ociekowe |
| 2. Przepompownia ścieków surowych | 9. Przepompownia osadu recykulowanego | 15. Stacja mechanicznego odwadniania osadu |
| 3. Piaskownik i kraty | 10. Komora przepływomierzy | 16. Silos zasypowy wapna palonego |
| 4. Budynek odbioru piasku u stacji dmuchaw | 11. Zagęszczacz gravitacyjny | 17. Budynek odbioru osadu odwodnionego |
| 5. Komora rozdzielu ścieków | 12. Przepompownia osadu | 18. Zasek składowy osadu odwodnionego |
| 6. Reaktory biologicznego oczyszczania ścieków | 13. Otwarta komora fermentacji | 19. Budynek socjalny i laboratoryjny |
| 7. Komora rozdzielu ścieków | | 20. Budynek energetyczny |
| | | 21. Stawy rybne |

Rys. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Mońkach [3]

Fig. 1. Technological diagram of wastewater treatment plant in Mońki [3]

Tak przedstawione rozwiązania technologiczne wymagają odpowiedniego systemu mieszania. Cyrkulacja ścieków i osadu wymuszona jest mieszadłami w układzie przemiennym, zapewniającym utrzymanie warunków beztlenowych w komorach defosfatacji i anoksycznych w komorach denitryfikacji. System napowietrzania drobnopęcherzykowego zastosowano w komorach nityfikacji i odgazowania; zapewnia on jednocześnie natlenienie oraz wymieszanie dopływających ścieków z osadem czynnym. Wymagane stężenie osadu czynnego w komorach reakcji jest osiągane dzięki recykulacji osadu z osadników wtórnych poprzez pompownię osadu powrotnego. W kolejnym etapie ścieki z osadem czynnym odprowadzane są przez komorę rozdzielu do dwóch osadników wtórnych o przepływie pionowym, w których następuje oddzielenie ścieków oczyszczonych od sedymentującego osadu czynnego. Oddzielony osad jest kierowany do pompowni osadowej, skąd zostaje częściowo zawrócony do początku układu komór reakcyjnych, a jego nadmiar zostaje usunięty do zagęszczacza.

Po przepływie przez osadnik wtórny oczyszczone ścieki odprowadzone są kanałem do odbiornika. Pomiar ilości odpływających ścieków dokonywany jest za pomocą przepływomierzy klapowych zamontowanych w komorze przepływowej.



Rys. 2. Schemat blokowy oczyszczalni ścieków w Mońkach [3]
Fig. 2. Block diagram wastewater treatment plant in Mońki [3]

Przeróbka i unieszkodliwianie osadu nadmiernego w oczyszczalni ścieków w Mońkach obejmuje:

- zagęszczanie osadu w zagęszczaczu grawitacyjnym,
- stabilizację beztlenową w otwartej komorze fermentacji (OKF),
- odwadnianie ustabilizowanego osadu przy użyciu taśmowej prasy filtracyjnej z użyciem polielektrolitu,
- higienizację osadu wapnem (CaO),
- suszenie na poletkach osadowych.

W zagęszczaczu grawitacyjnym zagęszczanie osadu następuje podczas tak zwanej sedymentacji skrapowanej cząstek osadu, która tworzy się pod wpływem działania sił ciężkości. Urządzenie to posiada konstrukcję zbliżoną do konstrukcji osadników odśrodkowych. W celu zwiększenia intensywności procesu zagęszczania zastosowano mieszadło mechaniczne obrotowe w kształcie ramy z pionowymi prętami [3].

W reaktorach biologicznego oczyszczania ścieków wydzielone są osady powstające w wyniku przyrostu masy mikroorganizmów. Do otwartej komory fermentacyjnej osad nadmierny trafia poprzez osadnik wtórny, komorę recyrkulacji, zagęszczacz i komorę przepompowni. Komory fermentacji są urządzeniami przeznaczonymi do przeprowadzenia biochemicznego rozkładu substancji zawartych w osadach ściekowych na drodze fermentacji. Rozkład przebiega wolno i trwa około 180 dni. W wyniku tego procesu uzyskuje się niezagniwający i łatwo odwadniający się osad. Substancje organiczne ulegają rozkładowi w warunkach beztlenowych na wodę i gaz. Codziennie w oczyszczalni powstaje około 50 m³ osadu pościekowego o uwodnieniu 98,5-99,0%, w zależności od stężenia osadu w komorze. Wyniki pracy komory fermentacyjnej w oczyszczalni ścieków w Mońkach na bieżąco są kontrolowane.

3. Metodyka badawcza

Do analiz pobierano próbki ścieków w 6 następujących punktach oczyszczalni typu Bioblok (rys.1):

1. przed komorą zasuw wyposażoną w kratę,
2. w piaskowniku wyposażonym w kraty mechaniczne do oddzielenia grubych zawiesin oraz piasku,
3. w reaktorze biologicznego oczyszczania ścieków, komora defosfatacji,
4. w reaktorze biologicznego oczyszczania ścieków, komora denitryfikacji,
5. w reaktorze biologicznego oczyszczania ścieków, komora nitryfikacji,
6. w osadniku wtórnym, w którym następuje oddzielenie ścieków oczyszczonych od sedymentacyjnego osadu czynnego.

Ścieki pobierano raz w tygodniu lub raz na 2 tygodnie od 30 października 2005 do 15 września 2006 roku. W ściekach wykonano następujące oznaczenia:

- Azot amonowy [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$] - metodą Nesslerera,
- Azot azotanowy (V) [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]- metodą redukcyjną z użyciem kadmu,
- Ogólny węgiel organiczny [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]-analizatorem węgla TOC 1200 firmy ThermoEuroglass,
- Chemiczne zapotrzebowanie na tlen ChZT – metodą z 86% kwasem siarkowym, siarczanem rtęci oraz trójtlenkiem chromu,
- Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen BZT₅ – systemem Sensomat,
- Zawiesinę – metodą wagową bezpośrednią.

4. Dyskusja uzyskanych wyników badań

Zmiany parametrów ścieków podczas poszczególnych etapów ich oczyszczania podano w tabeli 1 oraz na rysunku 3.

Największe stężenie azotu amonowego wykazywały ścieki surowe z pierwszego październikowego poboru i wyniosło ono $121 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$, co jest wartością blisko trzykrotnie większą, niż podają Boruszko i Dąbrowski (2003). W ściekach surowych pobranych w następnych tygodniach wystąpiło znaczne obniżenie stężenia tej formy azotu do $13 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$. Natomiast ścieki w pozostałych terminach zawierały od $36\text{-}65 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$. Wartość średnia w okresie badawczym wynosiła $52,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

W ściekach pobranych z komory defosfatacji we wszystkich badanych okresach stężenie azotu amonowego nie przekraczało $40 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, dając wartość średnią równą $26,4 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$.

W ściekach pobranych w komorze denitryfikacji nastąpiło obniżenie azotu amonowego od $27 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w jednym z poborów listopadowych do $6 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ podczas ostatniego grudniowego, przy czym wartość średnią stanowiło $18,1 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$.

Oddzielenie osadu czynnego jest ostatnim krokiem w uzyskaniu klarownych, o stałej wymaganej zawartości azotu i stężeniu innych zanieczyszczeń ścieków. Dalsze obniżenie tej formy azotu odbywa się w osadniku wtórnym. Ścieki oczyszczone pobrane w całym okresie badawczym zawierały mniej niż $10 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$, co jest graniczną normą (Rozporządzenie Min. Środ. z 24 lipca 2006r.). Wartość średnia azotu amonowego w ściekach oczyszczonych wynosiła $1,2 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$. Podobnie wyniki uzyskali Wawrentowicz i Gwoździej-Mazur (2002).

Tabela 1. Zmiany parametrów ścieków podczas procesu oczyszczania [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]
Table 1. Changes of determined parameters in wastewater during treatment [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]

	N-NH ₄	N-NO ₃	OWO	ChZT _{Cr}	BZT ₅	Zawiesina
Punkt 1 poboru ścieków						
ŚREDNIA	52,5	51,5	205	650,4	500	417,9
MEDIANA	47,5	54,5	217,5	606,5	485	377
ODCHYLENIE ST.	34	24	84	222	156	202
MINIMUM	13	10	67	392	308	163
MAKSIMUM	122	80	293	1016	697	718
Punkt 2 poboru ścieków						
ŚREDNIA	64,6	56,5	184	631,4	517,3	411,6
MEDIANA	61,5	56,5	216,5	535,5	458,5	339
ODCHYLENIE ST.	30,7	19,2	99,3	336	273,8	260
MINIMUM	11	17	49	265	244	184
MAKSIMUM	121	87	289	1241	1047	993
Punkt 3 poboru ścieków						
ŚREDNIA	26,4	47,9	82,3	222,6	140	161,3
MEDIANA	26,5	52	70	200,5	113,5	122
ODCHYLENIE ST.	8,9	18,7	59,9	102	74	94,3
MINIMUM	12	16	16	103	63	90
MAKSIMUM	39	67	195	347	252	371
Punkt 4 poboru ścieków						
ŚREDNIA	18,1	55	65	147,5	85,9	99,5
MEDIANA	19	44	61,5	146	61,5	110
ODCHYLENIE ST.	7,5	33,2	37,6	85,8	49,3	52,3
MINIMUM	6	18	19	56	46	23
MAKSIMUM	27	100	138	283	167	179
Punkt 5 poboru ścieków						
ŚREDNIA	3,8	52,3	38	71,9	35,8	80,1
MEDIANA	1,9	51	34,5	55	33,5	61
ODCHYLENIE ST.	5,5	21	22,4	41,1	17,7	39,6
MINIMUM	0,35	22	13	33	19	47
MAKSIMUM	17	84	82	160	71	165
Punkt 6 poboru ścieków						
ŚREDNIA	1,2	27,6	22	35,6	12,1	31
MEDIANA	1	26	18,5	34	9,5	29
ODCHYLENIE ST.	1,2	6	9,4	7,3	5,9	10
MINIMUM	0,3	20	14	28	8	24
MAKSIMUM	4	37	43	51	25	55



Rys. 3. Zmiany wartości średnich form azotu podczas procesu oczyszczania ścieków
Fig. 3. Changes of mean values of nitrogen forms during wastewater treatment

Zawartość azotanów (V) w ściekach surowych w zależności od terminu ich pobrania wahała się w przedziale od 10 do 80 mg·dm⁻³, a wartość średnia stężenia tej formy azotu wynosiła 51,5 mg·dm⁻³. W ściekach oczyszczonych zawartość azotanów (V) wahała się od 20 do 37 mg·dm⁻³, dając wartość średnią wynoszącą 26 mg·dm⁻³. Według norm zawartość N-NO₃ w ściekach oczyszczonych nie powinna przekraczać 30 mg·dm⁻³, co osiągnięto w przeważającej liczbie próbek w czasie prowadzonych badań. Stężenie N-NO₃ w ściekach ulegało różnym wahaniom na poszczególnych etapach ich oczyszczania.

Proces defosfatacji powodował, iż najmniejsze stężenie azotanów (V) wystąpiło w ściekach pobranych w październiku 2005r. i wyniosło 16 mg·dm⁻³, we wszystkich kolejnych poborach następnym próbkach stężenie rosło aż do ponad 60 mg·dm⁻³, osiągając wartość średnią na poziomie 47,5 mg·dm⁻³. W próbkach pobranych w grudniu 2006r. ponownie malało do około 30÷40 mg·dm⁻³. W wyniku procesu nityfikacji, największą wartość azotanów (V) w ściekach wynoszącą 84 mg·dm⁻³ odnotowano podczas poboru grudniowego, a najmniejszą 22 mg·dm⁻³ w ściekach pobranych w październiku. Wartość średnia w okresie badawczym wynosiła 52,3 mg·dm⁻³.

Stężenie zanieczyszczeń organicznych w ściekach w kolejnych etapach oczyszczania podano w tabeli 1 oraz na rysunku 4.

Stężenie węgla w ściekach surowych wahało się od 47 do 293 mg C·dm⁻³. W kolejnych etapach oczyszczania zawartość węgla w ściekach zmniejszała się proporcjonalnie do ilości w ściekach oczyszczonych od kilku do 43 mg C·dm⁻³. Wartość średnia OWO w ściekach surowych podczas całego okresu badawczego wyniosła 205 mg C·dm⁻³, natomiast w ściekach oczyszczonych 22 mg C·dm⁻³.



Rys. 4. Zmiany wartości średnich związków organicznych podczas procesu oczyszczania ścieków

Fig. 4. Changes of mean values of organic compounds during wastewater treatment

Każdy kolejny etap oczyszczania przyczyniał się do zmniejszenia wartości $ChZT_{Cr}$ i BZT_5 w ściekach podczas całego okresu badawczego. W ściekach oczyszczonych stwierdzono zbliżoną wartość $ChZT_{Cr}$. Większym wahaniom podlegała wartość BZT_5 w oczyszczonych ściekach.

Pełniejszą ocenę stężenia zanieczyszczeń organicznych w ściekach można przedstawić za pomocą stosunku $ChZT/OWO$ oraz BZT_5/OWO . Jak podaje Bojanowska stosunek $CHZT/OWO$ w ściekach surowych powinien wynosić od 2,5 do 4,0. W analizowanych ściekach miało to odzwierciedlenie w znacznej większości pobranych próbek. Natomiast stosunek BZT_5/OWO powinien wahać się od 1,8 do 2,5 i zależność ta w ściekach z Moniek mieściła się w tym zakresie podczas każdego pobrania. Ścieki oczyszczone jak przedstawia Bojanowska powinny charakteryzować się stosunkiem $CHZT/OWO$ w zakresie od 1 do 2. W ściekach oczyszczonych z oczyszczalni w Mońkach w/w stosunek wahał się od 1,18 do 2. Podobnie stosunek BZT_5/OWO w ściekach oczyszczonych wynosił 0,5-0,64 i mieścił się w zakresie przedstawionym przez Bojanowską (0,5-1).

Zawartość zawiesiny ogólnej w ściekach surowych wahała się pomiędzy 168, a 718 $mg \cdot dm^{-3}$, przyjmując wartość średnią na poziomie ponad 417 $mg \cdot dm^{-3}$. Prawie połowa z analizowanych próbek miała więcej zawiesiny niż podaje Boruszko i Dąbrowski (2003). Ilość zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych nie przekraczała 30 $mg \cdot dm^{-3}$, a wartość średnia wyniosła 31 $mg \cdot dm^{-3}$.

5. Wnioski

1. Oczyszczalnia ścieków w Mońkach eksploatowana jest prawidłowo.
2. Reaktory biologiczne tj.: przepływowy i sekwencyjny w oczyszczalni ścieków w Mońkach charakteryzują się wysoką efektywnością pracy.
3. Stosowana w oczyszczalni technologia działająca w oparciu o metodę niskoobciążonego osadu z usuwaniem związków biogenych w układzie przepływowym, umożliwi pełny biochemiczny rozkład zanieczyszczeń.
4. Znaczna większość analizowanych wskaźników w oczyszczonych ściekach spełniała wymagania ustalone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006r. „w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi”.
5. W oczyszczonych ściekach stwierdzono sporadyczne ponadnormatywne stężenie azotanów (V), OWO i zawiesiny ogólnej.

Literatura

1. **Bartkowska I., Dzieńis L., Wawrentowicz D.** *Sequencing batch reactors with continuous inflow for small communities in Poland* : W: 5-osios Tarptautines konferencijos : "Aplinkos inžinerija" : Programa ir santraukos, Vilnius, May 23-24, 2002. - Vilnius, 2002. - S.154
2. **Bojanowska I.** http://www.chem.univ.gda.pl/~bojirka/WYK_SC.pdf
3. **Boruszko D., Dąbrowski W.** *Obieg związków biogenych w miejskich oczyszczalniach ścieków*. Białystok: 172, 2003.
4. **Dzieńis L.** *Modernization of small wastewater treatment plants in agricultural and industrial regions* : Pol. J. Environ. Stud. - Vol.16, nr 2A (2007), s.8-13 Problems of Water and Sewage Management in Agricultural and Industrial Regions : 14th conference, Białowieża, June 17-19, 2007.
5. **Królikowski A., Wawrentowicz D.** *Modernization of sludge management on the example of sewage treatment plant in Hajnówka* : Pol. J. Environ. Stud. - Vol.16, nr 2A (2007), s.14-17 Problems of Water and Sewage Management in Agricultural and Industrial Regions : 14th conference, Białowieża, June 17-19, 2007.
6. **Kuczewski K., Pałuch J.** *Kształtowanie wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę, usuwanie i oczyszczanie ścieków*. Zeszyt Problemy PZITS: Ocena sprawności oczyszczania ścieków w kontekście obowiązujących przepisów i wytycznych rady wspólnot europejskich. 43-51, Wrocław 1993.
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006r. „w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego”, (Dz. U. Nr 168, poz. 1763).
8. **Wawrentowicz D., Gwoździej-Mazur J.** *Ocena pracy wybranej komunalnej oczyszczalni ścieków typu SBR*, Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, I Kongres Inżynierii Środowiska, 489-494, Lublin 2002.