



ANALIZA NIEZAWODNOŚCI FUNKCJONOWANIA OCZYSZCZALNI BIOBLOK PS-50 Z ZASTOSOWANIEM METODY WEIBULLA

Piotr Bugajski

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie

ANALYSIS OF RELIABILITY OF THE TREATMENT PLANT BIOBLOK PS-50 USING THE METHOD OF WEIBULL

Streszczenie

Celem badań była analiza niezawodności działania zbiorczej oczyszczalni ścieków typu Bioblok PS-50 zlokalizowanej w miejscowości Gruszów w gminie Pałecznicza w województwie małopolskim. Okres badań objął lata 2008 – 2010. W okresie badań pobrano i poddano analizie fizyczno-chemicznej 18 próbek ścieków surowych oraz oczyszczonych ze średnią częstotliwością raz na dwa miesiące zgodnie z obowiązującymi metodami referencyjnymi. Ocenę niezawodności usuwania zanieczyszczeń w przedmiotowej oczyszczalni określono przy wykorzystaniu elementów teorii niezawodności Weibulla. W badaniach uwzględniono wskaźniki zanieczyszczeń określonych w pozwoleniu wodno-prawnym wydanym dla tego obiektu tj. BZT₅, ChZT oraz zawiesina ogólna. Ponadto określono niezawodność unieszkodliwiania azotu ogólnego. Na podstawie oceny niezawodności funkcjonowania obiektu w odniesieniu do wskaźników z grupy podstawowej tj. BZT₅, ChZT oraz zawiesiny ogólnej wykazano, że prawdopodobieństwo przekroczenia wartości dopuszczalnych możliwe jest w okresie od 3 do 8 dniach w rocznym okresie czasu. Ilość dni z możliwym przekroczeniem wartości dopuszczalnych wskaźników zanieczyszczeń wskazuje, iż badana oczyszczalnia spełnia wymagania poziomu niezawodności technologicznej. W odniesieniu do niezawodności unieszkodliwiania związków azotu w badanej

oczyszczalni stwierdza się, że prawdopodobieństwo przekroczenia wartości granicznej możliwe jest w 12 dobach w rocznym okresie czasu.

Słowa kluczowe: ścieki, niezawodność, metoda Weibulla.

Summary

The aim of the study was analysis of the reliability of the municipal sewage treatment plant Bioblok PS – 50. The sewage treatment plant is in Gruszow in municipality Palecznica in the Malopolska province. Time of research was from 2008 to 2010 year. During this period, collected and analyzed the physico – chemical 18 samples of raw sewage and treated with an average frequency of once every two months in accordance with the reference methods. The evaluation of the effectiveness of contaminant removal in this treatment was determined using the Weibull reliability theory elements. The studies included pollution indicators specified in the authorization issued of law for this object: BOD₅, COD and total suspension. Moreover determined regarding the reliability of wastewater nitrogen. On the basis of the assessment of the reliability of operation of the facility in relation to the indicators of the primary group: BOD₅, COD and total suspension has been shown that the probability of exceeding the limit values can be from 3 to 8 days in the year. Number of days with possible exceeding of the limit values of indicators of pollution indicates that the test treatment meets the level of technological reliability. With respect to the reliability of the nitrogen compounds in the waste water treatment test states that the probability of exceeding the limit value is possible in 12 days of the time period of one year.

Key words: sewage, reliability, Weibull method.

WPROWADZENIE

Wybór odpowiedniej technologii unieszkodliwiania zanieczyszczeń w oczyszczalniach ścieków na terenach wiejskich to ważny decyzja, której skutki pozytywne lub negatywne ponoszone są przez kilkanaście lub kilkadziesiąt następnych lat (Heidrich Z., Stańko G., 2008; Józwiakowski K., i in. 2012). Decyzja o wyborze rodzaju oczyszczalni powinna być gruntownie przeanalizowana, ponieważ niewłaściwy wybór może skutkować problemami eksploatacyjnymi w przyszłości oraz karami finansowymi nakładanymi za nieprawidłowe oczyszczanie ścieków (Roman M., 1993, Kaczor G., Bugajski P., 2007). Małe oczyszczalnie ścieków zaliczane do grupy obiektów poniżej 2000 RLM funkcjonujące na terenach wiejskich są często pozbawione stałej kontroli, jak też nadzoru. Na-

tomiast przydomowe oczyszczalnie ścieków są wręcz pozbawione całkowicie kontroli funkcjonowania (Andraka L., Dzieńis L., 2013; Józwiakowski K., Pytka A., 2010). Spowodowane jest to najczęściej brakiem środków finansowych na opłacenie pracowników, którzy odpowiednio przeszkoleni i doświadczeni kontrolowaliby w sposób ciągły przebieg procesów zachodzących w oczyszczalni, a w razie problemów szybko i skutecznie potrafiliby zareagować. W Polsce, gdzie kultura społeczeństwa w odniesieniu do korzystania z toalet lub innych urządzeń sanitarnych (umywalka, zlewozmywak) pozostawia wiele do życzenia, często spotyka się informacje podane w literaturze, iż największym problemem w funkcjonowaniu małych systemów kanalizacyjnych na terenach wiejskich jest nieprawidłowa eksploatacja. Ważne, zatem jest, aby użytkownicy i eksploatacytorzy małych oczyszczalni ścieków mieli proste „narzędzia” do oceny funkcjonowania obiektu. Taką przykładową metodą jest metoda Weibulla zastosowana w niniejszym artykule w odniesieniu do przykładowego obiektu (Bugajski P., i in. 2012).

CEL, ZAKRES ORAZ METODYKA BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań była ocena niezawodności działania zbiorczej oczyszczalni ścieków Bioblok PS-50. Obiekt badań zlokalizowany jest w miejscowości Gruszów w gminie Pałecznicza w województwie małopolskim. W okresie badań od stycznia 2008 do grudnia 2010 roku pobrano i poddano analizie fizyczno-chemicznej 18 próbek ścieków surowych oraz oczyszczonych ze średnią częstotliwością raz na dwa miesiące zgodnie z metodami referencyjnymi określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2006 roku (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.). Dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń przyjęto na podstawie pozwolenia wodno-prawnego na odprowadzanie ścieków do odbiornika wydanego dla tego obiektu. Oprócz wskaźników z grupy podstawowej określonych w pozwoleniu wodno-prawnym tj BZT₅, ChZT oraz zawiesiny ogólnej dodatkowo poddano analizie niezawodność unieszkodliwiania azotu ogólnego. Ocenę efektywności usuwania zanieczyszczeń w przedmiotowej oczyszczalni określono przy wykorzystaniu elementów teorii niezawodności Weibulla. Rozkład Weibulla charakteryzuje się funkcją (1) prawdopodobieństwa z parametrami b, c, i θ:

$$f(x) = \frac{c}{b} \cdot \left[\frac{(x-\theta)}{b} \right] \cdot e^{\left\{ -\left[\frac{(x-\theta)^c}{b} \right] \right\}} \quad (1)$$

gdzie:

x – zmienna określająca stężenie danego wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych,

b – parametr skali,

c – parametr kształtu,

θ – parametr położenia.

Przy założeniach: $\theta < x$, $b > 0$, $c > 0$

Estymację parametrów rozkładu Weibulla wykonano metodą największej wiarygodności. Jakość dopasowania rozkładu Weibulla do danych empirycznych przeprowadzono testem Hollandera-Proschana. Analizę wyników badań wykonano przy użyciu programu STATISTICA ver. 8.

Tabela 1. Charakterystyki analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych

Table 1. The characteristics of the analyzed indicators of pollutants in the raw sewage

| Wskaźnik Indicator | Statystyka/Statistic | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Średnia, mg·dm ⁻³ | Mediana, mg·dm ⁻³ | Min., mg·dm ⁻³ | Maks., mg·dm ⁻³ | Odch. st., mg·dm ⁻³ | Wsp. zmienności |
| BZT ₅ /BOD ₅ | 452 | 456 | 195 | 870 | 150,6 | 0,33 |
| ChZT/COD | 727 | 717 | 430 | 1400 | 203,2 | 0,28 |
| Zawiesina ogólna Total suspension | 491 | 502 | 237 | 987 | 165,1 | 0,34 |
| Azot ogólny Total nitrogen | 105 | 99 | 72 | 163 | 23,7 | 0,23 |

OPIS OBIEKTU BADAŃ

Analizowana oczyszczalnia ścieków typu Bioblok PS-50 zlokalizowana jest w miejscowości Gruszów w gminie Pałecznica w województwie małopolskim. Wielkość obiektu wyrażona Równoważną Liczbą Mieszkańców (RLM) wynosi 250, co kwalifikuje obiekt według obowiązującego Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2006 roku (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.) do grupy oczyszczalni poniżej 2000 RLM. Na podstawie w/w Rozporządzenia zostały określone maksymalne (dopuszczalne) wartości wskaźników zanieczyszczeń z grupy podstawowej w ściekach oczyszczonych:

- BZT₅ – 40 mgO₂·dm⁻³,
- ChZT – 150 mgO₂·dm⁻³,
- Zawiesina ogólna – 50 mg·dm⁻³.

Przedmiotowa oczyszczalnia ścieków jest obiektem działającym w oparciu o dwa etapy oczyszczania – mechaniczny i biologiczny. W skład urządzeń oczyszczalni ścieków wchodzi: krata gęsta, bioreaktor z osadem czynnym oraz osadnik wtórny z przelewem pilastym, z którego oczyszczone ścieki odpływają do odbiornika, którym jest ciek „bez nazwy”. Dodatkowo na terenie oczyszczalni przed kratą zainstalowany jest punkt zlewny ścieków dowożonych z oko-

licznych zbiorników wybieranych (szamb). Do oczyszczalni doprowadzane są ścieki bytowe z miejscowości Gruszków kolektorem grawitacyjnym o długości 4 km i średnicy \varnothing 200 mm. Dodatkowo do oczyszczalni doprowadzane są ścieki poubojowe z pobliskiej ubojni trzody chlewnej w ilości $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W okresie wykonywania badań oczyszczalnia była niedociążona hydraulicznie, ponieważ średni dopływ dobowy wynosił $25 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, podczas gdy dopływ zakładany w projekcie wynosi $50 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest „ciek bez nazwy”, którego przepływ SNQ wynosi $172,8 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

Tabela 2. Charakterystyki analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych

Table 2. The characteristics of the analyzed indicators of pollutants in treated sewage

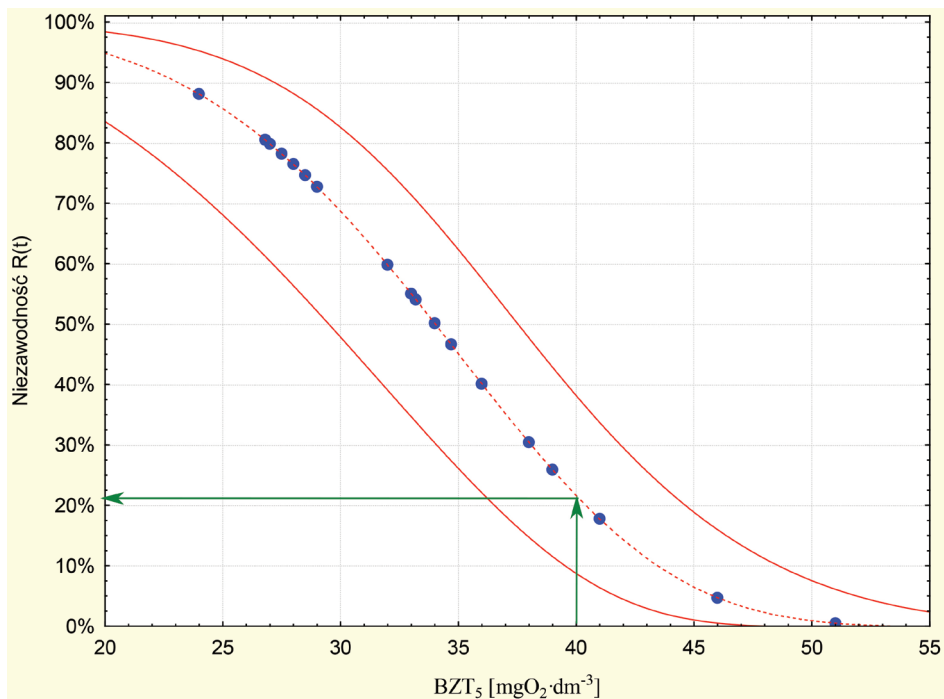
| Wskaźnik Indicator | Statystyka/Statistic | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|---|--|--|-----------------|
| | Średnia, $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Mediana, $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Min., $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Maks., $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Odch. st., $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ | Wsp. zmienności |
| BZT ₅ /BOD ₅ | 34 | 33 | 24 | 51 | 7,1 | 0,21 |
| ChZT/COD | 132 | 127 | 72 | 211 | 27,5 | 0,22 |
| Zawiesina ogólna Total suspension | 35 | 31 | 20 | 62 | 12,3 | 0,35 |
| Azot ogólny Total nitrogen | 29 | 28 | 22 | 42 | 5,7 | 0,20 |

Tabela 3. Wyniki estymacji parametrów rozkładu Weibulla wraz z miarami dobroci dopasowania do danych empirycznych

Table 3. The results of the estimation of the parameters of the Weibull distribution, with measures of goodness of fit to empirical data

| Wskaźnik Indicator | Parametry rozkładu distribution parameters | | | Test Hollandera-Proschana | |
|--------------------------------------|---|-------|----------|-----------------------------|---------|
| | b | c | θ | Wartość testu Test value | p* |
| BZT ₅ /BOD ₅ | 36,712 | 4,892 | 22,273 | 0,313912 | 0,75359 |
| ChZT/COD | 143,11 | 4,771 | 10,909 | 0,193294 | 0,84673 |
| Zawiesina ogólna Total suspension | 39,71 | 3,123 | 18,939 | 0,312611 | 0,75458 |
| Azot ogólny Total nitrogen | 31,256 | 5,236 | 21,364 | 0,361019 | 0,70189 |

* prawdopodobieństwo testowe; jeśli $p \leq 0,05$ należy odrzucić hipotezę zerową, że dane empiryczne można opisać rozkładem Weibulla

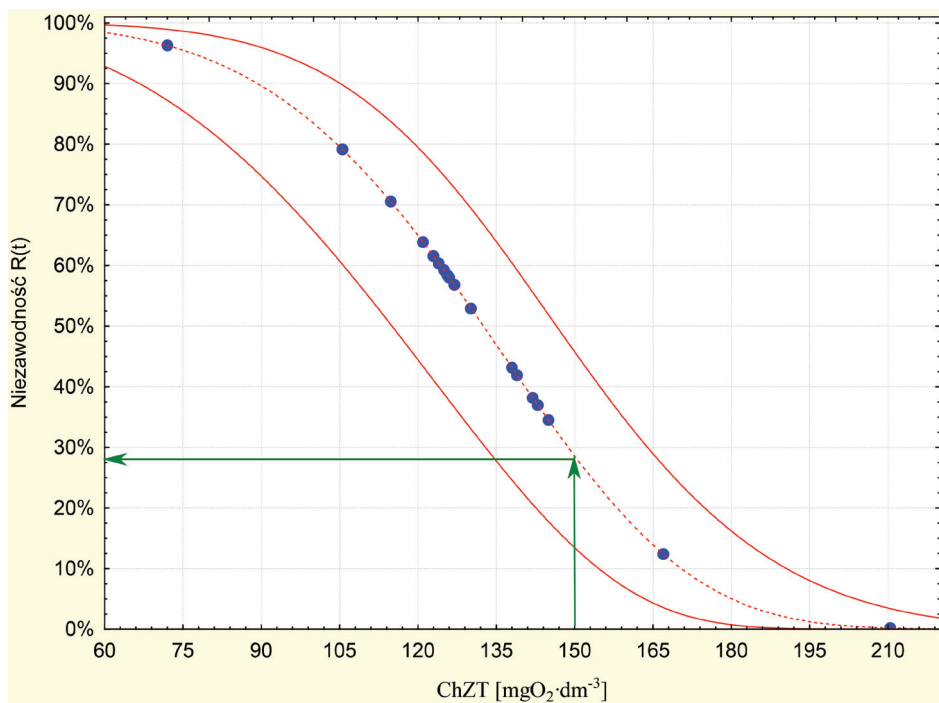


Rysunek 1. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla BZT₅ w ściekach oczyszczonych

Figure 1. Weibull reliability analysis results for BOD₅ in treated sewage

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie wyników analiz fizyczno-chemicznych dotyczących ścieków surowych stwierdzono, że wielkości i stężenia wskaźników zanieczyszczeń charakteryzują typowymi wartościami dla ścieków bytowych pochodzących z gospodarstw domowych. Współczynnik zmienności wielkości oraz stężenia wskaźników zanieczyszczeń określony na poziomie od 0,23 do 0,34 wskazuje, że jakość ścieków dopływających charakteryzowała się małą zmiennością. W oczyszczalniach, w których reaktory biologiczne funkcjonują w oparciu o metodę osadu czynnego jest to bardzo istotne, gdyż technologia ta wrażliwa jest na zmienną ilość ładunku w ściekach dopływających. Wartości charakterystyczne wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych dopływających do analizowanego obiektu przedstawiono w tabeli 1.



Rysunek 2. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla ChZT w ściekach oczyszczonych

Figure 2. Weibull reliability analysis results for COD in treated sewage

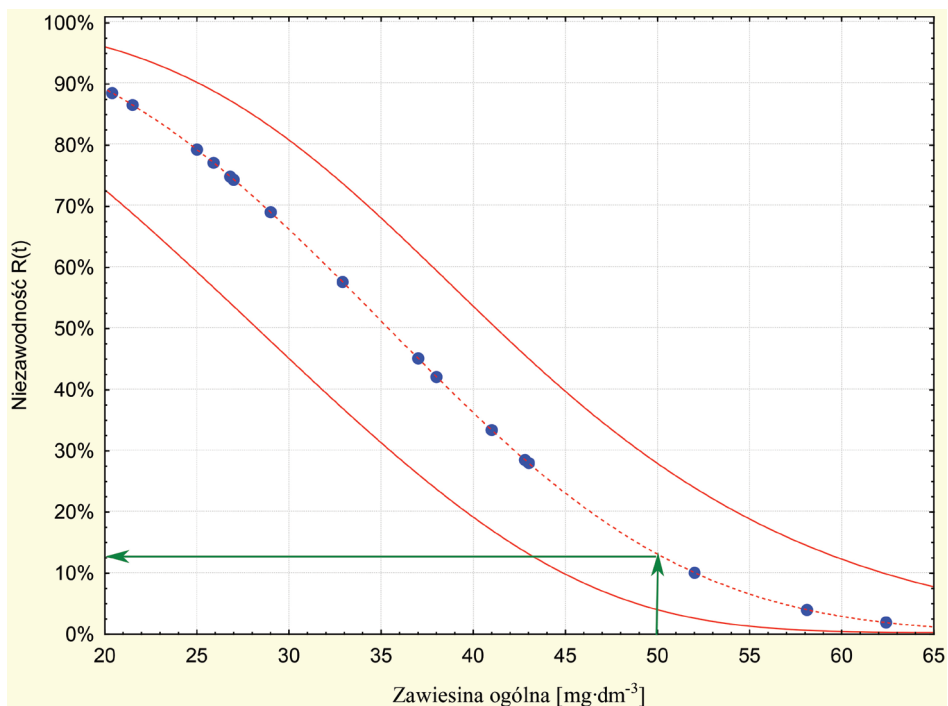
W wyniku przeprowadzonej analizy dotyczącej określenia wielkości zanieczyszczeń w ściekach surowych poddano podobnej analizie ścieki oczyszczone. W odniesieniu do wartości BZT_5 stwierdzono, że średnia arytmetyczna wielkość tego wskaźnika w badanym okresie wyniosła $34 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast mediana $33 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Jednakże w 3 próbkach w 18 pobranych stwierdzono przekroczenia wielkości dopuszczalnej – $40 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Analizując wskaźnik ChZT stwierdzono, że wielkość średnia i mediana wyniosły odpowiednio 132 i $127 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. W przypadku tego wskaźnika stwierdzono przekroczenia wielkości dopuszczalnej wynoszącej $150 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ w 2 przypadkach na 18 próbek pobranych ścieków oczyszczonych. W przypadku kolejnego wskaźnika zawiesiny ogólna wielkość dopuszczalna wynosząca $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ została przekroczona 3 krotnie. Średnia wielkość zawiesiny ogólnej w okresie badawczym wyniosła $35 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a mediana $31 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Natomiast stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych porównano do wartości maksymalnej wynoszącej $30 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wielkość ta została określona, jako dopuszczalna dla azotu ogólnego.

nego w ściekach oczyszczonych dla oczyszczalni poniżej 2000 RLM (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.), w warunkach, gdy ścieki odprowadzane są do wód stojących (jeziora, stawy, oczka wodne).

W analizowanej oczyszczalni w pozwoleniu wodno-prawnym nie określono warunków dla azotu ogólnego, jednakże w przedstawionej analizie niezawodności uznano, że ważne i cenne będą informacje na temat możliwości unieszkodliwiania związków azotu w oczyszczalni tego typu.

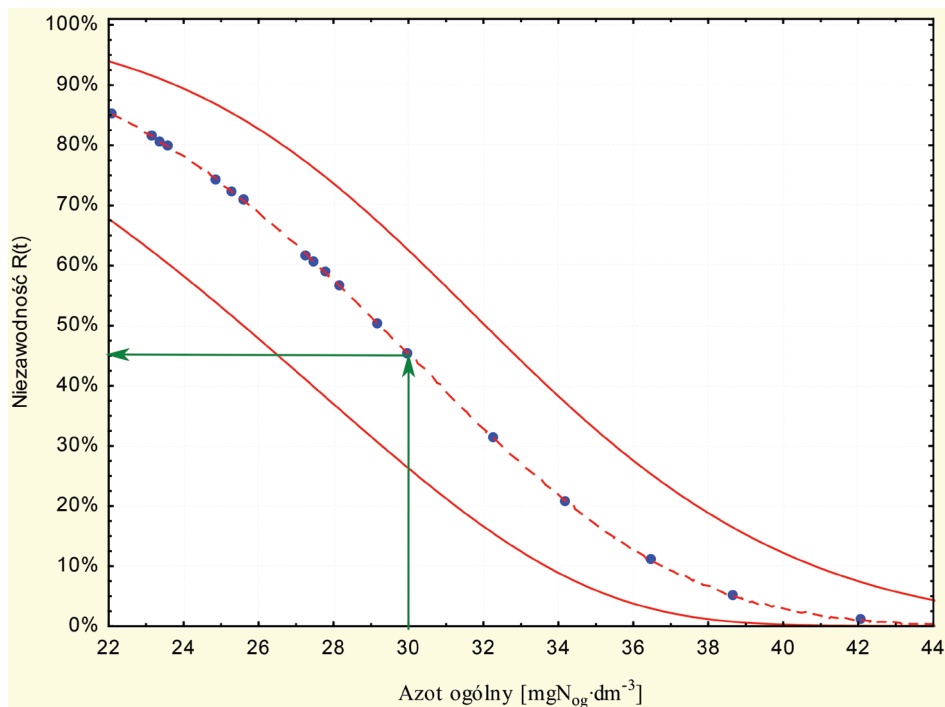
Średnie stężenie azotu ogólnego w ściekach odpływających wyniosło $29 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast mediana wyniosła $28 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. W 5 przypadkach na 18 pobranych próbek ścieków stwierdzono przekroczenia wartości $30 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wartości charakterystyczne wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych dopływających do analizowanego obiektu przedstawiono w tabeli 2.

W dalszej analizie dotyczącej ścieków oczyszczonych dla oszacowanych parametrów rozkładu dokonano weryfikacji hipotezy o przyjęciu rozkładu Weibulla do aproksymacji danych empirycznych. Wyniki dopasowania rozkładu testem Hollandera-Proschana wraz z estymowanymi parametrami przedstawiono w tabeli 3.



Rysunek 3. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych

Figure 3. Weibull reliability analysis results for the total suspension in treated sewage



Rysunek 4. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla stężeń azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych

Figure 4. Weibull reliability analysis results for the concentration of total nitrogen in treated sewage

Wyniki analizy niezawodnościowej metodą Weibulla dotyczącą BZT_5 w ściekach oczyszczonych przedstawiono na rycinie 1. Przyjmując, jako wielkość dopuszczalną BZT_5 w ściekach oczyszczonych równą $40 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ stwierdza się, że 21% próbek ścieków oczyszczonych nie spełniała wymagań dotyczących unieszkodliwiania tego wskaźnika. Przyjmując, zatem, że 21% stanowi około 6 dni w ciągu roku możliwe jest, iż w analizowanej oczyszczalni w blisko 6 dobach w rocznym okresie czasu w ściekach oczyszczonych znajdują się nadmierne ilości węgla organicznego wyrażonego, jako BZT_5 . W przypadku wielkości ChZT w ściekach oczyszczonych na podstawie analizy niezawodnościowej Weibulla przedstawionej na rycinie 2 można stwierdzić, iż w około 28% przypadków wielkości ChZT są wyższe od wartości dopuszczalnej. Zatem w okresie roku w blisko 8 dobach możliwe są przekroczenia wielkości tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych. Analizując niezawodność unieszkodliwiania zawiesiny ogólnej metodą Weibulla przedstawioną na rycinie 3 stwierdzono, że w 12% przypad-

ków istnieje możliwość przekroczenia wielkości maksymalnej wynoszącej $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, co wskazuje, iż tylko w 3 dobach w rocznym okresie czasu istnieje prawdopodobieństwo odpływu ścieków ze zwiększoną zawartością zawiesiny ogólnej. W przypadku analizy niezawodnościowej Weibulla w odniesieniu do azotu ogólnego stwierdzono, że w 45% analizowanych próbek ścieków stężenia tego biogenu są wyższe od stężenia granicznego, czyli $30 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Oznacza to, iż istnieje prawdopodobieństwo, że w około 12 dobach w ciągu roku stężenia azotu ogólnego będą wyższe od wartości określonej, jako maksymalna czy dopuszczalna. Wyniki analizy niezawodnościowej przedstawiono na rycinie 4. Na rycinach od 1 do 4 na osi odciętych zaznaczono wartość dopuszczalną dla danego wskaźnika, a na osi rzędnych procentowe prawdopodobieństwo wystąpienia tej wartości określone przy pomocy (dystrybuanty) funkcji niezawodności wraz z przedziałem ufności $\alpha=0,05$.

Przyjmując zaproponowane przez Andrakę i Dzieńisa (2003) wytyczne graniczne, według których tej wielkości oczyszczalnia powinna pracować z niezawodnością, co najmniej 97,3% przy ryzyku producenta na poziomie $\alpha=0,05$. Można, zatem stwierdzić, iż dopuszczalna jest wadliwa praca oczyszczalni o RLM poniżej 2000 przez 9 dni w roku. Zatem w przypadku trzech wskaźników zanieczyszczeń tj. BZT_5 , ChZT oraz zawiesiny ogólnej określonych do oceny niezawodności funkcjonowania w pozwoleniu wodno-prawnym obiekt spełnia wymagania poziomu niezawodności technologicznej. Natomiast odnosząc się do niezawodności unieszkodliwiania azotu ogólnego dla tego obiektu stwierdza się, że nie spełnia ona przedstawionych kryteriów niezawodności. Jednakże należy pamiętać, że procesy zachodzące w bioreaktorze przedmiotowej oczyszczalni nie są dostosowane technologicznie do sprawnego unieszkodliwiania dużej ilości związków azotu.

WNIOSKI

1. W okresie badań wielkości oraz stężenia wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych odpowiadały typowym ściekom bytowym oraz charakteryzowały się małą zmiennością.
2. Ocena niezawodności funkcjonowania oczyszczalni ścieków oparta o model Weibulla w odniesieniu do wskaźników z grupy podstawowej tj. BZT_5 , ChZT oraz zawiesiny ogólnej wykazała, że prawdopodobieństwo przekroczenia wartości dopuszczalnych możliwe jest od 3 do 8 dób w okresie rocznym.
3. W odniesieniu do niezawodności unieszkodliwiania związków azotu w badanej oczyszczalni stwierdza się, że prawdopodobieństwo przekroczenia wartości przyjętej, jako dopuszczalna możliwe jest w 12 dobach w rocznym okresie czasu.

LITERATURA

Andraka D., Dzieńis L. (2003). Wymagany poziom niezawodności oczyszczalni ścieków w świetle przepisów polskich i europejskich. *Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Seria Inżynieria Środowiska*, z. 16, Białystok, 24-28.

Andraka D., Dzieńis L. (2013). Modelowanie ryzyka w eksploatacji oczyszczalni ścieków. *Rocznik Ochrony Środowiska – tom 15*, 1111-1125.

Bugajski P., Wałęga A., Kaczor G. (2012). Zastosowanie metody Weibulla do analizy niezawodności działania przydomowej oczyszczalni ścieków. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2*, 56-58.

Heidrich Z., Stańko G. (2008). Kierunki rozwiązań oczyszczalni ścieków dla wiejskich jednostek osadniczych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5*, 169-177.

Jóźwiakowski K., Pytka A. (2010). Rozwój gospodarki wodno-ściekowej na terenach wiejskich w Polsce w latach 1990-2008. *Gospodarka Odpadami Komunalnymi. Monografia Komitetu Chemii Analitycznej PAN. Tom VI*, 31-39.

Jóźwiakowski K., Pytka A., Marzec M., Gizińska M., Dąbek J., Głaz B., Sławińska A. (2012). Rozwój infrastruktury wodno-ściekowej w województwie lubelskim w latach 2000-2011. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3(1)*, 73-86.

Roman M. (1993). Ścieki – ich ilość i jakość. Materiały seminarium szkoleniowego nt. Optymalny dobór oczyszczalni ścieków. *Wyd. ABRYS – Poznań*.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984.).

Dr hab. inż. Piotr Bugajski

Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,

Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

p.bugajski@ur.krakow.pl