

EWA WĄSIK, PIOTR BUGAJSKI, KRZYSZTOF CHMIEŁOWSKI

Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

MODEL WEIBULLA JAKO NARZĘDZIE OCENY NIEZAWODNOŚCI DZIAŁANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W NIEPOŁOMICACH

WEIBULL MODEL AS A TOOL FOR ASSESSMENT
OF OPERATION RELIABILITY IN A SEWAGE TREATMENT PLANT
IN NIEPOŁOMICIE

Streszczenie. W pracy określono niezawodność działania komunalnej oczyszczalni ścieków znajdującej się na obszarze Niepołomickiej Strefy Przemysłowej. Analizę oparto na pięciu wskaźnikach zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesinie ogólnej, azocie ogólnym oraz fosforze ogólnym. Próbkę ścieków oczyszczonych były pobierane raz w miesiącu w okresie od stycznia 2011 do grudnia 2013 roku. Dokonano analizy redukcji poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń oraz określono ich podstawowe charakterystyki statystyczne. Badania wykazały, że oczyszczalnia ścieków w Niepołomicach charakteryzuje się bardzo dużą efektywnością usuwania zanieczyszczeń; otrzymano średnie wartości: 98,8% dla BZT₅, 97,0% dla ChZT_{Cr}, 97,3% dla zawiesiny ogólnej, 88,6% dla azotu ogólnego oraz 97,0% dla fosforu ogólnego. Prognozę niezawodności pracy omawianej oczyszczalni oparto na rozkładzie wartości zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych z wykorzystaniem modelu Weibulla. Wykazano, że w przypadku BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesiny ogólnej i fosforu ogólnego w odniesieniu do rocznego okresu pracy obiekt spełniałby wymogi obowiązujące oczyszczalnię przez 365 dni, natomiast w przypadku azotu ogólnego – przez 336 dni w roku.

Słowa kluczowe: komunalna oczyszczalnia ścieków, niezawodność, rozkład Weibulla

Wstęp

Gmina Niepołomice znana jest jako jedna z gmin obszaru Małopolski z najbardziej dynamicznie rozwijającymi się strefami przemysłowymi. Na terenie miasta znajduje się Niepołomicka Strefa Przemysłowa, na której obszarze zlokalizowano kilkanaście przed-

siębiorstw i firm z dwóch branż: spożywczej (Coca-Cola, Foodcare, Royal-Canin) i motoryzacyjnej (MAN i Nidec). Na terenie gminy usytuowane są poza tym: Zachodnia Strefa Przemysłowa w Ochmanowie oraz Wschodnia Strefa Przemysłowa w Woli Batorskiej (e-Niepołomice).

Wraz z nowymi inwestycjami na terenie Niepołomickiej Strefy Przemysłowej gmina zwiększa nakłady na rozbudowę sieci kanalizacji sanitarnej, co umożliwi odbiór ścieków z istniejących oraz nowych zakładów. Ścieki z obszaru miasta oraz strefy inwestycyjnej są przesyłane do Komunalnej Oczyszczalni Ścieków. W roku 2009 Gmina Niepołomice zakończyła program inwestycji w zakresie oczyszczania ścieków komunalnych, który obejmował modernizację centralnej oczyszczalni ścieków w Niepołomicach oraz budowę dwóch nowych obiektów: w Zabierzowie Bocheńskim i Woli Zabierzowskiej, obejmujących część wschodnią gminy (e-Niepołomice).

Ścieki pochodzące z obszarów uprzemysłowionych charakteryzują się zwykle dużą zmiennością stężeń zanieczyszczeń. Powoduje to zróżnicowanie skuteczności oczyszczania w czasie oraz asymetryczny rozkład wartości wskaźników zanieczyszczeń w odpływie. Z tego względu projekt lub modernizacja oczyszczalni przyjmującej takie ścieki powinien być oparty nie tylko na średniej, która będzie spełniała standardy dla danego obiektu, lecz również na medianie. Wartość ta może zostać wykorzystana do obliczeń gwarantowanych stężeń zanieczyszczeń w odpływie z oczyszczalni z uwzględnieniem poziomu niezawodności. Do oceny ryzyka przekroczenia dopuszczalnych wartości wskaźników w ściekach oczyszczonych stosuje się metody wykorzystujące teorię niezawodności działania obiektu (Krzanowski i Wałęga, 2006; Wałęga, 2009), w tym model oparty na rozkładzie statystycznym Weibulla (Bugajski, 2014; Bugajski i in., 2012).

Material i metody

Badany obiekt jest zlokalizowany w gminie miejsko-wiejskiej Niepołomice, położonej w województwie małopolskim, w powiecie krakowskim. Gminę zamieszkuje 25 607 osób, z których 10 822 mieszkają w mieście Niepołomice (GUS, 2013). Z sieci kanalizacyjnej korzysta obecnie około 86% mieszkańców miasta.

Oczyszczalnia została zaprojektowana dla $RLM = 38\,475$, na natężenie przepływu ścieków odpowiednio: średnie dobowe $Q_{d\acute{s}r} = 4500\text{ m}^3$, maksymalne godzinowe $Q_{hmax} = 450\text{ m}^3$ i maksymalne roczne $Q_{max} = 2\,135\,000\text{ m}^3$. W okresie trzech lat badań średnie dobowe natężenie przepływu ścieków było na poziomie 4115 m^3 , czyli stanowiło 91% wartości projektowej.

Oczyszczaniu są poddawane ścieki bytowe, przemysłowe oraz opadowe z obszaru miasta i zachodniej części gminy. Obecnie do oczyszczalni nie są dowożone nieczystości z terenów nieskanalizowanych. Oczyszczalnia ścieków w Niepołomicach ma pozwolenie wodnoprawne na odprowadzanie ścieków oczyszczonych z miasta i gminy Niepołomice istniejącym wylotem do rzeki Wisły (km 100+900). W pozwoleniu wodnoprawnym zostały określone następujące dopuszczalne stężenia badanych wskaźników w ściekach oczyszczonych: $BZT_5 - 15\text{ mg O}_2\text{ na }1\text{ dm}^3$, $ChZT_{Cr} - 125\text{ mg O}_2\text{ na }1\text{ dm}^3$, zawiesina ogólna $- 35\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, azot ogólny $- 15\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ i fosfor ogólny $- 2\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Pozwolenie..., 2014).

Analizowany obiekt to oczyszczalnia ścieków typu mechaniczno-biologicznego ze zwiększonym usuwaniem związków biogenych wykorzystująca metodę niskoobciążonego osadu czynnego o przedłużonym napowietrzaniu z jednoczesnym usuwaniem związków biogenych w reaktorze Biocompact.

Pierwszy etap mechanicznego oczyszczania ścieków surowych następuje na kratkach gęstych, sterowanych ręcznie lub automatycznie, a następnie na dwóch piaskownikach pionowych. Ścieki po oczyszczeniu mechanicznym są podawane pompami do reaktorów wielofazowych z komorami: anaerobową, anoksydacyjną i aerobową.

W przypadku konieczności wspomagania biologicznej defosfatacji dozowaniem środków chemicznych jest wykorzystywana stacja dozowania soli żelaza w postaci PIX.

Poza wymienionymi elementami oczyszczalnia ścieków w Niepołomicach jest wyposażona w urządzenia do przeróbki i zagospodarowania osadu.

Okres badań obejmował przedział czasowy od stycznia 2011 do grudnia 2013 roku. Do analizy wyników wzięto pod uwagę wskaźniki zanieczyszczeń z grupy podstawowej (BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesinę ogólną) oraz z grupy zanieczyszczeń eutroficznych (azot ogólny oraz fosfor ogólny) oznaczane raz w miesiącu. Analizy zanieczyszczeń w ściekach surowych i oczyszczonych udostępnione autorom zostały wykonane w Centralnym Laboratorium MPWiK S.A. w Krakowie. Na podstawie tych danych dokonano analizy skuteczności usuwania poszczególnych zanieczyszczeń.

Dodatkowo dla każdego analizowanego wskaźnika przedstawiono podstawowe statystyki opisowe (średnią arytmetyczną, medianę, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, minimum, maksimum, skośność i kurtozę) oraz określono ilość przekroczeń w stosunku do wartości dopuszczalnych określonych w pozwoleniu wodnoprawnym (Pozwolenie..., 2014).

W pracy dokonano oceny efektywności usuwania zanieczyszczeń w badanej oczyszczalni z wykorzystaniem elementów teorii niezawodności. Prognozę niezawodności funkcjonowania oczyszczalni wykonano na podstawie analizy rozkładu statystycznego wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych, wykorzystując do tego celu model Weibulla. Estymację parametrów rozkładu wykonano metodą największej wiarygodności, a oceny jakości jego dopasowania do danych empirycznych – testem Hollandera-Proschana (Bugajski i in., 2012). Statystyczną oraz niezawodnościową analizę wyników badań wykonano za pomocą programu STATISTICA 10.

Wyniki i dyskusja

Analizę statystyczną wyników otrzymanych w okresie badań przedstawiono w tabeli 1.

Na podstawie wyników badań fizyczno-chemicznych ścieków surowych stwierdzono, że wartości wskaźników zanieczyszczeń są typowe dla ścieków bytowych, podobne do podawanych przez innych autorów (Bugajski i Bergel, 2008; Heidrich i in., 2008). Mała wartość współczynnika zmienności wskaźników zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni – na poziomie 0,27 w przypadku azotu ogólnego oraz 0,38 w przypadku ChZT_{Cr} i zawiesiny ogólnej – wskazuje na małe zróżnicowanie jakości dopływających ścieków.

Wartość ilorazu ChZT_{Cr}/BZT₅ w ściekach surowych wynosiła średnio 1,92. Jest ona typowa dla ścieków komunalnych i wskazuje na obecność w nich organicznych zanie-

Tabela 1. Charakterystyki statystyczne analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych i oczyszczonych w czasie od stycznia 2011 do grudnia 2013 roku

Table 1. Statistical characteristics of the analysed pollution indicators in the raw and treated sewage in the period since January 2011 till December 2013

| Wskaźnik Indicator | Wartość dopuszczalna w odpływie Permissible value in the effluent (Rozporządzenie..., 2006) | Statystyka opisowa Descriptive statistics (n = 36) | Ścieki surowe Raw sewage | Ścieki oczyszczone Treated sewage |
|---|---|--|-----------------------------|--------------------------------------|
| BZT ₅ (mg O ₂ w 1 dm ³) BOD ₅ (mg O ₂ per 1 dm ³) | 15,00 | Średnia – Average | 789,2 | 8,47 |
| | | Mediana – Median | 770,0 | 8,00 |
| | | Minimum – Min | 390,0 | 2,70 |
| | | Maksimum – Max | 1 450,0 | 21,00 |
| | | Odch. std. – Std. deviation | 229,2 | 3,56 |
| | | Wsp. zmienności – Reliability coefficient | 0,29 | 0,42 |
| ChZT _{Cr} (mg O ₂ w 1 dm ³) COD _{Cr} (mg O ₂ per 1 dm ³) | 125,00 | Średnia – Average | 1 522,8 | 40,77 |
| | | Mediana – Median | 1445,0 | 38,80 |
| | | Minimum – Min | 623,0 | 22,20 |
| | | Maksimum – Max | 3 500,0 | 71,00 |
| | | Odch. std. – Std. deviation | 572,46 | 13,94 |
| | | Wsp. zmienności – Reliability coefficient | 0,38 | 0,34 |
| Zawiesina ogólna Total suspension (mg·dm ⁻³) | 35,00 | Średnia – Average | 454,7 | 10,69 |
| | | Mediana – Median | 435,0 | 9,60 |
| | | Minimum – Min | 190,0 | 2,20 |
| | | Maksimum – Max | 1 000,0 | 29,00 |
| | | Odch. std. – Std. deviation | 173,9 | 7,0 |
| | | Wsp. zmienności – Reliability coefficient | 0,38 | 0,66 |
| Azot ogólny Total nitrogen (mg·dm ⁻³) | 15,00 | Średnia – Average | 93,7 | 9,83 |
| | | Mediana – Median | 95,1 | 9,82 |
| | | Minimum – Min | 44,5 | 4,09 |
| | | Maksimum – Max | 145,1 | 16,00 |
| | | Odch. std. – Std. deviation | 25,57 | 3,62 |
| | | Wsp. zmienności – Reliability coefficient | 0,27 | 0,37 |
| Fosfor ogólny Total phosphorus (mg·dm ⁻³) | 2,00 | Średnia – Average | 12,1 | 0,35 |
| | | Mediana – Median | 11,9 | 0,34 |
| | | Minimum – Min | 6,8 | 0,10 |
| | | Maksimum – Max | 23,1 | 0,69 |
| | | Odch. std. – Std. deviation | 3,48 | 0,17 |
| | | Wsp. zmienności – Reliability coefficient | 0,29 | 0,47 |

czyszczeń zarówno łatwo, jak i trudno rozkładalnych w procesach biochemicznych (Bever i in., 1997).

O stabilności pracy badanego obiektu świadczą również małe wartości współczynników zmienności dla ścieków oczyszczonych, które wynosiły: 0,34 dla $ChZT_{Cr}$, 0,37 dla azotu ogólnego, 0,42 dla BZT_5 , 0,47 dla fosforu ogólnego, 0,66 dla zawiesiny ogólnej (tab. 1).

Średnia redukcja analizowanych wskaźników zanieczyszczeń wyniosła: dla BZT_5 – 98,8%, dla $ChZT_{Cr}$ – 97,0%, dla zawiesiny ogólnej – 97,3%, dla azotu ogólnego – 88,6% i dla fosforu ogólnego – 97,0%. Są to wartości nieprzekraczające wartości dopuszczalnych dla tego typu obiektów zgodnie z obowiązującym w czasie badań rozporządzeniem (Rozporządzenie..., 2006).

Na 36 analizowanych próbek ścieków oczyszczonych jedynie w przypadku azotu ogólnego stwierdzono przekroczenia wartości dopuszczalnej wynoszącej $15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Sytuacja ta miała miejsce trzykrotnie: w styczniu 2011, listopadzie 2011 oraz w październiku 2012 roku w ilości dopuszczalnej w stosunku do wymogów pozwolenia wodnoprawnego (Pozwolenie..., 2014).

Wyniki analizy niezawodnościowej usuwania poszczególnych zanieczyszczeń z wykorzystaniem modelu Weibulla przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunkach 1–5.

Tabela 2. Wyniki estymacji parametrów rozkładu Weibulla wraz z miarami dobroci dopasowania do danych empirycznych

Table 2. Results of the estimation of the Weibull distribution parameters together with the measures of goodness of fit to empirical data

| Wskaźnik Indicator | Parametry rozkładu – Distribution parameters | | | Test Hollandera-Proschana Hollander-Proschan test | |
|--------------------------------------|--|-----------------------------|--|--|---------|
| | skali of scale (b) | kształtu of shape (c) | położenia of location (θ) | wartość testu test value | p* |
| BZT_5 BOD_5 | 9,5377 | 2,5070 | 0,6667 | 0,170516 | 0,8646 |
| $ChZT_{Cr}$ COD_{Cr} | 45,610 | 3,2354 | 21,364 | 0,261955 | 0,79336 |
| Zawiesina ogólna Total suspension | 11,999 | 1,6196 | 1,9545 | 0,175917 | 0,86036 |
| Azot ogólny Total nitrogen | 11,028 | 3,1140 | 3,3889 | -0,045912 | 0,96338 |
| Fosfor ogólny Total phosphorus | 0,40187 | 2,3227 | 0,6303 | 0,082508 | 0,93424 |

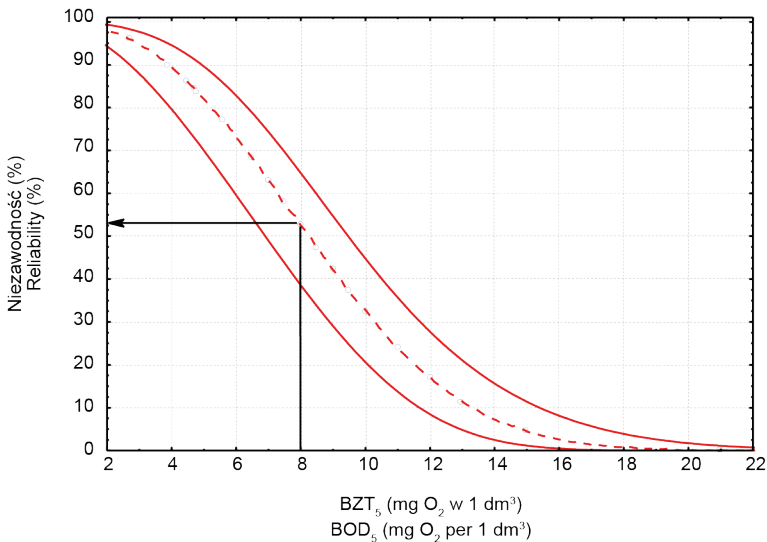
*Prawdopodobieństwo testowe; przy $p \leq 0,05$ należy odrzucić hipotezę zerową, że dane empiryczne można opisać rozkładem Weibulla.

*Test probability; if $p \leq 0.05$ it should be reject the null hypothesis that the empirical data can be described by Weibull distribution.

Dokonano weryfikacji hipotezy o przyjęciu rozkładu Weibulla do aproksymacji danych empirycznych, a wyniki dopasowania rozkładu z wykorzystaniem testu Hollandra-Proschana wraz z estymowanymi parametrami przedstawiono w tabeli 2.

Analizując wyniki estymacji parametrów rozkładu Weibulla wraz z miarami dobroci dopasowania do danych empirycznych, można stwierdzić, że rozkład Weibulla opisuje dane empiryczne na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ w przypadku: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego i fosforu ogólnego odpowiednio z prawdopodobieństwem: 86,5%, 79,3%, 86,0%, 96,3% oraz 93,4%.

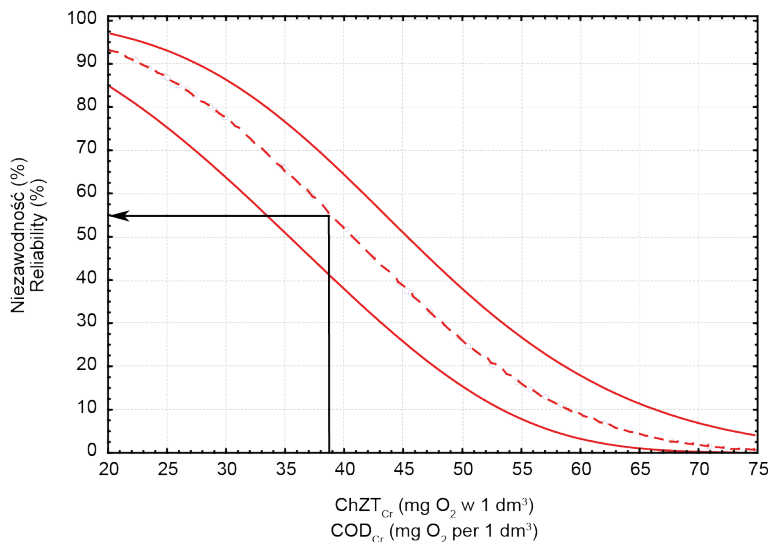
Na podstawie dystrybuanty BZT₅ w ściekach oczyszczonych (rys. 1) stwierdzono, że niezawodność pracy przedmiotowego obiektu w odniesieniu do mediany wynosi 54%. Oznacza to, że w rocznym okresie czasu mniej więcej w 197 dobach wartość BZT₅ w ściekach odprowadzanych do odbiornika będzie $\leq 8,0$ mg O₂ na 1 dm³. Porównując wielkość mediany analizowanego parametru w ściekach surowych i oczyszczonych, stwierdzono bardzo dużą skuteczność usuwania związków organicznych wyrażonych jako BZT₅ w procesie technologicznym, osiagającą 98,9% w co najmniej 197 dobach.



Rys. 1. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla stężenia BZT₅ w ściekach oczyszczonych

Fig. 1. Results of the Weibull reliability analysis for the BOD₅ concentration in treated sewage

W przypadku ChZT_{Cr} (rys. 2) niezawodność pracy w odniesieniu do mediany wynosi 55%. W rocznym okresie czasu mniej więcej w 201 dobach w ściekach oczyszczonych wystąpi zatem ChZT_{Cr} o wartości 38,8 mg O₂ w 1 dm³ lub mniejszej. Biorąc pod uwagę wielkości median ChZT_{Cr} w ściekach surowych i oczyszczonych, stwierdza się, że w co najmniej 201 okresach dobowych skuteczność usuwania tego wskaźnika będzie na wysokim poziomie – 97,3%.



Rys. 2. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla stężenia ChZT_{Cr} w ściekach oczyszczonych

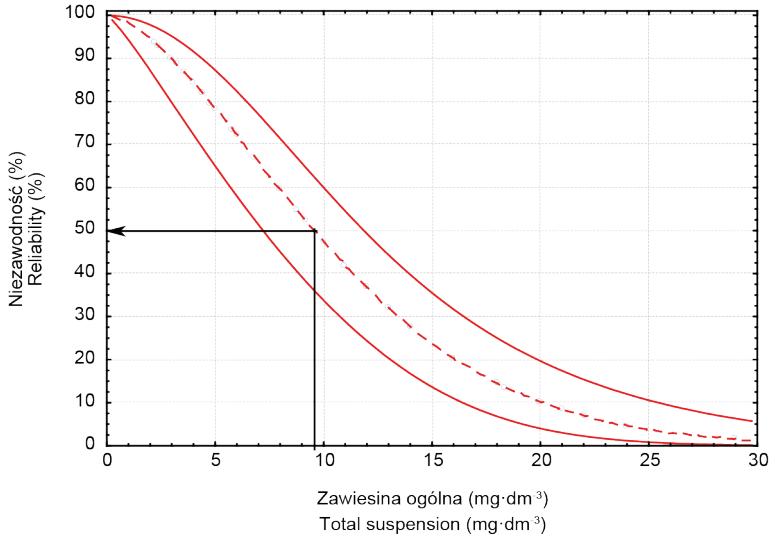
Fig. 2. Results of the Weibull reliability analysis for the COD_{Cr} concentration in treated sewage

Wyniki analizy niezawodnościowej usuwania pozostałych zanieczyszczeń, tj. zawiesiny ogólnej (rys. 3), azotu ogólnego (rys. 4) i fosforu ogólnego (rys. 5), wskazują na 50-procentową niezawodność pracy w odniesieniu do mediany. Oznacza to, że w rocznym okresie czasu mniej więcej w 182 dobach w ściekach oczyszczonych będzie osiągnięte stężenie: zawiesiny ogólnej – $\leq 9,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, fosforu ogólnego – $\leq 0,34 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz azotu ogólnego – $\leq 9,82 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Porównując wielkości mediany analizowanych wskaźników zanieczyszczeń z ich wartościami w ściekach surowych, stwierdza się, że przez co najmniej połowę roku skuteczność usuwania zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego będzie na poziomie odpowiednio: 97,8%, 97,1% i 89,7%.

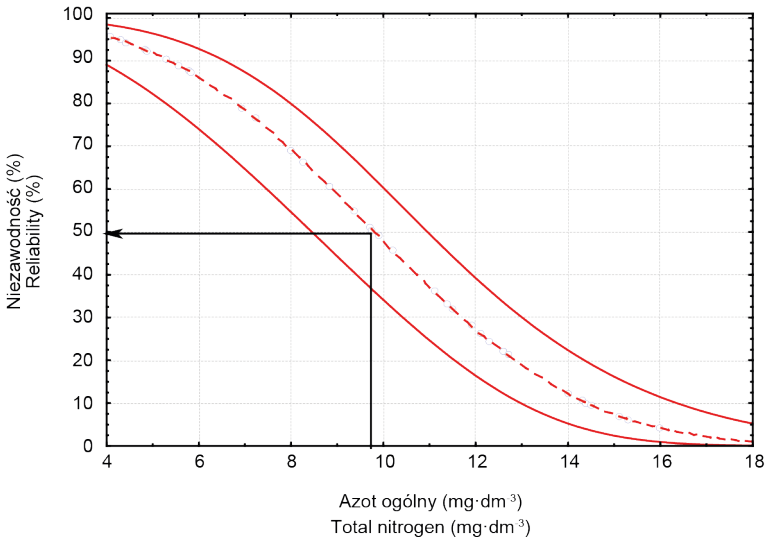
Na podstawie dystrybuanty dla azotu ogólnego (rys. 4) stwierdzono, że w 8% pobranych próbek ścieków oczyszczonych było przekroczone dopuszczalne stężenie, które wynosi $15 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Zatem w ściekach odprowadzanych z analizowanej oczyszczalni do odbiornika mniej więcej w 29 dobach w okresie roku wystąpią wartości stężeń azotu ogólnego przekraczające wymagania.

Zaproponowane przez Andrakę i Dzienisa (2003) wytyczne, według których dla oczyszczalni o RLM od 15 000 do 49 999 wymagany jednostkowy poziom niezawodności powinien wynosić 92,3% przy ryzyku operatora na poziomie $\alpha = 0,05$, określają dopuszczalną liczbę dni w roku wadliwej pracy oczyszczalni na 27. W przypadku omawianej oczyszczalni zmniejszona jest zatem jedynie niezawodność usuwania azotu ogólnego w dwóch dobach, a wartości pozostałych wskaźników są na poziomie spełniającym wymagania niezawodnościowe.



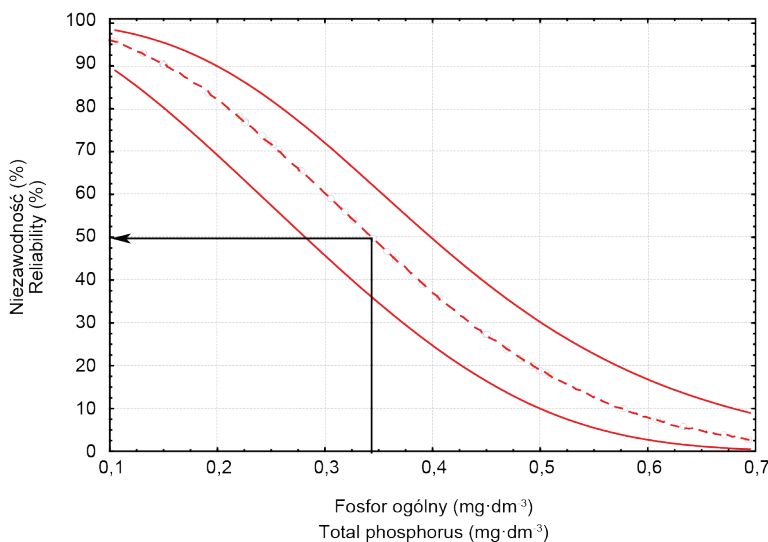
Rys. 3. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych

Fig. 3. Results of the Weibull reliability analysis for the total suspension concentration in treated sewage



Rys. 4. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych

Fig. 4. Results of the Weibull reliability analysis for the total nitrogen concentration in treated sewage



Rys. 5. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla dla stężenia fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych

Fig. 5. Results of the Weibull reliability analysis for the total phosphorus concentration in treated sewage

Podsumowanie

Model oceny niezawodnościowej oparty na analizie rozkładu statystycznego Weibulla wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych okazał się przydatnym narzędziem do oceny działania oczyszczalni ścieków w Niepołomicach.

Wykonana analiza pozwoliła na ocenę ryzyka awarii obiektu, czyli przekroczenia dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach odpływających do odbiornika jakim jest rzeka Wisła.

Obliczona prognoza niezawodności pracy omawianej oczyszczalni oparta na rozkładzie wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych z wykorzystaniem modelu Weibulla wykazała, że w przypadku BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesiny ogólnej i fosforu ogólnego w odniesieniu do okresu jednego roku obiekt spełniałby wymogi dotyczące usuwania tych wskaźników przez 365 dni, natomiast w przypadku azotu ogólnego nie spełniałby wymogów przez 29 dni.

Biorąc pod uwagę niezawodność pracy badanego obiektu według wskazanych przez Andrakę i Dzienisa (2003) wytycznych, jest ona zmniejszona tylko w przypadku usuwania azotu ogólnego w dwóch dobach. Wartości stężeń pozostałych wskaźników, tzn. BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesiny ogólnej i fosforu ogólnego, są na poziomie spełniającym wymagany jednostkowy poziom niezawodności dla tej wielkości oczyszczalni ścieków.

Bardzo duże średnie skuteczności usuwania związków organicznych, wyrażonych jako BZT₅ (98,8%), ChZT_{Cr} (97,0%), zawiesina ogólna (97,3%), azot ogólny (88,6%) oraz fosfor ogólny (97,0%), potwierdzają bardzo dobre funkcjonowanie Komunalnej Oczyszczalni Ścieków w Niepołomicach.

Literatura

- Andraka, D., Dzienis, L. (2003). Wymagany poziom niezawodności oczyszczalni ścieków w świetle przepisów polskich i europejskich. *Zesz. Nauk. P. Białost. Inż. Środ.*, 16, 24–28.
- Bever, J., Stein, A., Teichmann, H. (1997). Zaawansowane metody oczyszczania ścieków. *Bydgoszcz: Projprzem – EKO*.
- Bugajski, P. (2014). Ocena niezawodności usuwania związków biogenych w oczyszczalni ścieków metodą Weibulla. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 576, 13–21.
- Bugajski, P., Bergel, T. (2008). Wielkości wybranych stężeń zanieczyszczeń w ściekach bytowych odpływających z terenów wiejskich. *Gaz Woda Tech. Sanit.*, 9, 28–29.
- Bugajski, P., Wałęga, A., Kaczor, G. (2012). Zastosowanie metody Weibulla do analizy niezawodności działania przydomowej oczyszczalni ścieków. *Gaz Woda Tech. Sanit.*, 2, 56–58. e-Niepołomice. Internetowa strona Miasta i Gminy Niepołomice. Pozyskano z: <http://www.niepolomice.eu>
- GUS. (2013). *Ochrona środowiska*. Warszawa: GUS.
- Heidrich, Z., Kalenik, M., Podedworna, J., Stańko, G. (2008). *Sanitacja wsi*. Warszawa: Seidel-Przywecki.
- Krzanowski, S., Wałęga, A. (2006). Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków. *Infrastrukt. Ekol. Ter. Wiej.*, 3/2, 17–37.
- Pozwolenie wodnoprawne na odprowadzanie ścieków oczyszczonych do rzeki Wisły wydane przez Starostę Wielickiego z dnia 27 grudnia 2013 roku. (2014). *Maszynopis*. Wieliczka: Starosta Wielicki.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (2006). *Dz. U.*, 137, poz. 984.
- Wałęga, A. (2009). Ocena funkcjonowania oczyszczalni ścieków metodami statystycznymi. *Forum Eksploat.*, 44, 5, 30–34.

WEIBULL MODEL AS A TOOL FOR ASSESSMENT OF OPERATION RELIABILITY IN A SEWAGE TREATMENT PLANT IN NIEPOŁOMICE

Summary. The article presents the reliability of municipal sewage treatment plant in an area Niepołomiczka Industrial Zone. The analysis is based on five indicators of pollution: BOD₅, COD_{Cr}, total suspension, total nitrogen and total phosphorus. Samples of treated sewage were collected once a month in the period from January 2011 to December 2013. The paper presents an analysis of the effectiveness of individual indicators and identify their basic statistical characteristics. Studies have shown that wastewater treatment plant in Niepołomice is characterized by high efficiency of pollutants removal with mean effectiveness of BOD₅ – 98.8%, COD_{Cr} – 97.0%, total suspension – 97.3%, total nitrogen – 88.6%, and total phosphorus – 97.0%. The calculated forecast reliability of the discussed treatment plant based on the distribution of indicators in treated wastewater using Weibull model showed, that the facility meet the requirements for removal of these indicators for 365 days in the case of BOD₅, COD_{Cr}, suspended solids and total phosphorus, while for total nitrogen – 336 days a year.

Key words: municipal sewage treatment plant, reliability, Weibull distribution

Wąsik, E., Bugajski, P., Chmielowski, K. (2016). Model Weibulla jako narzędzie oceny niezawodności działania oczyszczalni ścieków w Niepołomicach. *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 2, #20. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.2.20

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Ewa Wąsik, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Poland, e-mail: Ewa.Wasik@ur.krakow.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

16.02.2016

Do cytowania – For citation:

*Wąsik, E., Bugajski, P., Chmielowski, K. (2016). Model Weibulla jako narzędzie oceny niezawodności działania oczyszczalni ścieków w Niepołomicach. *Nauka Przyr. Technol.*, 10, 2, #20. DOI: 10.17306/J.NPT.2016.2.20*