

Grzegorz Kaczor

**STĘŻENIA ZANIECZYSZCZEŃ
W ŚCIEKACH ODPROWADZANYCH Z WIEJSKICH
SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH
WOJEWÓDZTWA MAŁOPOLSKIEGO**

***CONCENTRATIONS OF THE POLLUTANTS
IN THE SEWAGE DRAINED FROM THE RURAL
SEWERAGE SYSTEMS IN LESSER POLAND VOIVODESHIP***

Streszczenie

Celem badań było określenie stężenia zanieczyszczeń w ściekach bytowych odprowadzanych z osiedli wiejskich lub miejsko-wiejskich zlokalizowanych na terenie województwa małopolskiego. Badania oparto na analizie 140 próbek ścieków surowych pobranych z 34 systemów kanalizacyjnych w latach 2000–2009. Analizie poddano wartości pięciu wybranych wskaźników zanieczyszczeń, tj. BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego. Uzyskane wyniki porównano z wartościami zestawionymi w ogólnodostępnej literaturze związanej z tematyką unieszkodliwiania ścieków

Przeprowadzone badania wykazały, że średnie wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach bytowych, odprowadzanych z osiedli wiejskich i miejsko-wiejskich województwa małopolskiego, różnią się od wartości tych wskaźników przedstawianych w literaturze. Największą różnicę stwierdzono w przypadku azotu ogólnego (wartość wyższa o 48%) i ChZT (wartość wyższa o 4,4%). Natomiast uzyskane w badaniach średnie stężenie fosforu ogólnego, wynoszące 11 mgP·dm⁻³, okazało się być o 45,8% niższe od wartości średniej przedstawionej w literaturze. Maksymalne wartości BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólnej i azotu ogólnego w badanych ściekach były znacznie wyższe od wartości maksymalnych przedstawianych w analizowanej literaturze.

Na podstawie zależności pomiędzy wartościami średnimi wskaźników zanieczyszczeń ChZT:BZT₅, BZT₅:N_{og}, BZT₅:P_{og} stwierdzono, że ścieki odprowadzane z osiedli wiejskich i miejsko-wiejskich województwa małopolskiego można

skutecznie poddawać zaawansowanym metodom oczyszczania biologicznego z usuwaniem związków biogenych.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że przy projektowaniu oczyszczalni ścieków należy zachować pewną ostrożność w prognozowaniu stężeń zanieczyszczeń w ściekach surowych wyłącznie na podstawie uogólnionych wartości podawanych w literaturze.

Słowa kluczowe: ścieki, kanalizacja, oczyszczalnia, BZT₅, ChZT

Summary

The aim of the research was to evaluate the pollutants' concentration in the household sewage drained from the rural or rural-urban districts located in Lesser Poland Voivodeship. The research was based on the analysis of 140 raw sewage samples taken from 34 sewerage systems in the period of 2000–2009. Values of five selected pollution indexes were analyzed: BOD₅, COD, total suspended solids, general nitrogen and general phosphorus. The results were compared to the amounts presented in the common literature on the sewage treatment.

The research showed that the average values of the pollution indexes in the household sewage drained from the rural and urban-rural districts in Lesser Poland Voivodeship differ from the values presented in the literature. The biggest difference was found in the case of the general nitrogen (value 48% higher) and COD (value 4,4% higher). However the average concentration of the general phosphorus, 11 mgP·dm⁻³, turned out to be 45,8% lower than the average value presented in the literature. The maximum values of BOD₅, COD, total suspended solids and general nitrogen in the tested sewage were much higher than the maximum values in the analyzed references.

On the basis of the relationships between the average values of the pollution indexes COD:BOD₅, BOD₅:N_{gen}, BOD₅:P_{gen} it was ascertained that the sewage drained from the rural and urban-rural districts in Lesser Poland Voivodeship can be effectively treated by the advanced biological methods with removal of the biogenic compounds

The results of the carried out research show that while designing of the sewage treatment plant the general information from the literature about the pollution concentration needs to be treated very carefully.

Key words: sewage, sewerage system, sewage treatment plant, BOD₅, COD

WPROWADZENIE

Ścieki bytowe na terenach wiejskich powstają głównie w gospodarstwach domowych oraz obiektach użyteczności publicznej. Zawierają one zdyspergowane w wodzie różnego rodzaju substancje organiczne oraz nieorganiczne, takie jak: wydaliny ludzkie i zwierzęce, resztki i odpady produktów spożywczych, rozpuszczone mydło i inne środki piorące (detergenty), fragmenty tkanin, papier oraz piasek i popiół [Łomotowski, Szpindor 1999]. W ściekach tych znajdują się także niebezpieczne dla zdrowia mikroorganizmy roślinne i zwierzęce, w tym bakterie, wirusy i pasożyty [Heidrich i in. 2008].

Zanieczyszczenia zawarte w ściekach można podzielić na: ciała stałe (rozpuszczone, opadające, nieopadające, organiczne i nieorganiczne), substancje nieorganiczne (chlorki, azotany, fosforany, siarczany, węglany i in.), materię organiczną (określaną takimi oznaczeniami jak BZT₅, ChZT, OWO), drobnoustroje (bakterie i pierwotniaki).

Przy projektowaniu systemów unieszkodliwiania ścieków niezbędna jest znajomość wartości przynajmniej pięciu podstawowych wskaźników zanieczyszczeń charakteryzujących skład ścieków surowych, tj.: BZT₅, ChZT, zawiesina ogólna, azot ogólny (N_{og}) i fosfor ogólny (P_{og}). Dodatkowo określa się jeszcze takie parametry, jak temperatura ścieków, pH, wartość ogólnego węgla organicznego (OWO), inne formy azotu (amoniowy NH₄-N, organiczny N_{org}), chlorki, detergenty, ekstrakty eterowe i in.

O podatności ścieków na procesy biologicznego oczyszczania decydują relacje pomiędzy wartościami wskaźników zanieczyszczeń. Efektywny przebieg procesu oczyszczania zachodzi jeżeli $ChZT:BZT_5 \leq 2,2$, $BZT_5:N_{og} \geq 4$, $BZT_5:P_{og} \geq 25$ [Heidrich i in. 2008].

W sytuacji, gdy w gminie nie ma jeszcze zbiorczego systemu odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków, przy projektowaniu oczyszczalni należy prognozować stężenia zanieczyszczeń w ściekach na podstawie charakteru produkcji rolniczej, liczby mieszkańców, występowania obiektów użyteczności publicznej oraz drobnych zakładów produkcyjnych lub przetwórczych, takich jak mleczarnie, rzeźnie, masarnie i in. oraz przewidywanej ilości ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym. Takie prognozowanie jest bardzo trudne, a wyniki często istotnie różnią się od wartości rzeczywistych. Przy wykonywaniu koncepcji lub założeń projektowych często korzysta się z orientacyjnych wartości stężeń zanieczyszczeń zamieszczonych w podręcznikach lub poradnikach dotyczących tematyki oczyszczania ścieków lub projektowania systemów kanalizacyjnych. Na ogół wartości zamieszczone w literaturze dotyczą zbioru danych ogólnokrajowych, uśredniających mocno różnice lokalne. Należy przypuszczać, że ze względu choćby na jądłospis mieszkańców, skład ścieków w miejscowościach nadmorskich będzie inny niż w osiedlach górskich.

W niniejszym opracowaniu analizie poddano stężenia zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych z osiedli wiejskich w województwie małopolskim. Na terenie Małopolski dominują gminy wiejskie oraz miejsko-wiejskie. Województwo małopolskie tworzą 22 powiaty, 182 gminy, 1904 sołectwa. Łącznie na jego terenie znajduje się 56 miast i 2630 wsi. Powierzchnia województwa wynosząca 15 182,87 km², zamieszkała jest przez 3 279 036 osoby (stan na 01.01.2008), co daje średnią gęstość zaludnienia 216 osób na 1 km².

W roku 2007 w województwie małopolskim pobrano łącznie 807,5 hm³ wody z której na cele produkcyjne skierowano 571,8 hm³. W analizowanym roku na terenie województwa wytworzono 271,3 hm³ ścieków wymagających oczyszczania, z czego do oczyszczalni ścieków skierowano 269,0 hm³ [Raport... 2007].

CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem badań było określenie stężenia zanieczyszczeń w ściekach bytowych odprowadzanych z osiedli wiejskich lub miejsko-wiejskich, zlokalizowanych na terenie województwa małopolskiego. Badania oparto na analizie 140 próbek ścieków surowych pobranych z 34 systemów kanalizacyjnych (rys. 1) w latach 2000–2009. Na etapie wstępnej analizy odrzucono 5 próbek, w których stężenia zanieczyszczeń były zbyt wysokie w porównaniu do typowych ścieków



Rysunek 1. Lokalizacja miejsc poboru próbek ścieków do badań na tle województwa małopolskiego

Figure 1. Location of the sewage sampling points in the area of the Lesser Poland Voivodeship

bytowych. Prawdopodobną tego przyczyną był nielegalny zrzut do kanalizacji substancji lub ścieków innych niż bytowe. Analizie poddano wartości pięciu wybranych wskaźników zanieczyszczeń, tj. BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego. Oznaczanie BZT₅ wykonywano metodą rozcieńczania i szczepienia z dodatkiem allilotiomicznika wg PN-EN 1899-

1:2002, ChZT – metodą dwuchromianową. Zawartość zawiesiny ogólnej określano metodą filtracji przez sączki z włókna szklanego wg PN - EN 872. Stężenie fosforu ogólnego w ściekach badano metodą spektrometryczną z molibdenianem amonu wg PN-EN ISO 6878:2006 pkt.8 – Oznaczanie fosforu. Azot Kjeldahla oznaczano po mineralizacji z selenem wg PN-EN 25663:2001, azot ogólny oznaczano metodą obliczeniową.

Dla potrzeb zestawienia pełnej charakterystyki rozkładu badanych stężeń zanieczyszczeń określono podstawowe parametry statystyki opisowej. Obliczenia przeprowadzono w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel.

Uzyskane wyniki porównano z wartościami zestawionymi w ogólnodostępnej literaturze związanej z tematyką unieszkodliwiania ścieków [Łomotowski, Szpindor 1999; Henze i in. 2002; Tchobanoglous i in. 2003; Błażejowski 2003; Heidrich, Witkowski 2005].

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W tabeli 1 zestawiono wyniki przeprowadzonych badań. Dla każdego z pięciu wybranych wskaźników zanieczyszczeń określono takie parametry jak wartość średnią, minimalną, maksymalną, odchylenie standardowe, medianę oraz wartość procentową współczynnika zmienności. Wyniki przeprowadzonych badań porównano z wartościami uzyskanymi przez innych autorów (tab. 2). Uzyskana wartość średnia BZT₅ w ściekach surowych odprowadzanych w województwie małopolskim zawiera się pomiędzy wartością średnią podaną przez Błażejowskiego [2003], a Heidricha i Witkowskiego [2005]. Zatem nie różni się zasadniczo od wyników badań innych polskich autorów, natomiast jest o 72,1% wyższa od średniej wartości BZT₅ w badaniach amerykańskich [Tchobanoglous i in. 2003]. Wartość minimalna tego wskaźnika jest bliska liczbie uzyskanej w swoich badaniach przez Łomotowskiego i Szpindora [1999]. Natomiast uwagę zwraca wysoka wartość maksymalna tego wskaźnika, wynosząca 940 mgO₂·dm⁻³. Przekracza ona o 240 mgO₂·dm⁻³ (34,3%) najwyższą wartość (700 mgO₂·dm⁻³) podawaną przez Łomotowskiego i Szpindora. Należy zaznaczyć, że w czterech próbkach pobranych ścieków wartość BZT₅ była wyższa od 700 mgO₂·dm⁻³. Należy sądzić, że tak wysoka wartość może być powodowana dopływem do kanalizacji stężonych ścieków z drobnych zakładów przetwórczych.

Wartość średnia ChZT w ściekach jest o 31 mgO₂·dm⁻³ (4,4%) wyższa od najwyższej wartości średniej w tabeli 2. Również wartość maksymalna tego wskaźnika jest o prawie 40% wyższa od największej wartości maksymalnej ustalonej przez poszczególnych autorów. W przeprowadzonych badaniach w dwunastu próbkach wartość ChZT była wyższa od 1200 mgO₂·dm⁻³ określonej przez Błażejowskiego [2003]. Można zatem stwierdzić, że wartość średnia i maksymalna ChZT jest wyższa w ściekach wytwarzanych w osiedlach wiejskich województwa małopolskiego niż podawana w omawianych pozycjach literaturowych.

Tabela 1. Zestawienie charakterystycznych wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w przeprowadzonych badaniach

Table 1. Comparison of the characteristic values of the analyzed pollution indexes in the carried out research

Wskaźnik	Jednostka	Wartość			Odchylenie standardowe	Mediana	Współczynnik zmienności %
		minimalna	średnia	maksymalna			
BZT ₅	mgO ₂ ·dm ⁻³	103	327,3	940	159,1	300	49
ChZT	mgO ₂ ·dm ⁻³	109	730,6	1668	325,2	640,8	45
zawiesina ogólna	mg·dm ⁻³	78	310,4	983	168,1	289	54
azot ogólny	mgN·dm ⁻³	19,4	73,9	180,9	37,4	63	51
fosfor ogólny	mgP·dm ⁻³	1,8	11,0	36,7	6,5	9,2	59

Tabela 2. Porównanie wyników badań z wartościami analizowanych wskaźników zanieczyszczeń uzyskanymi przez innych autorów

Table 2. Comparison of the pollution indexes from the research results and the values of obtained by the other authors

Wskaźnik	Jednostka	Parametr	Łomotowski i Szpindor 1999	Henze i in. 2002	Tchobanoglous i in. 2003	Białyjowski 2003	Heidrich i Witkowski 2005	Badania własne
BZT ₅	mgO ₂ ·dm ⁻³	zakres	100–700	150–530	110–350	230–500	–	103–940
		średnia	–	380	190	300	400	327
ChZT	mgO ₂ ·dm ⁻³	zakres	200–900	210–740	250–800	400–1200	–	109–1668
		średnia	–	530	430	700	–	731
zawiesina ogólna	mg·dm ⁻³	zakres	120–450	120–450	120–400	230–400	–	78–983
		średnia	–	300	210	310	367	310
azot ogólny	mgN·dm ⁻³	zakres	30–140	20–80	20–70	40–60	67–80	19–181
		średnia	–	50	40	50	–	74
fosfor ogólny	mgP·dm ⁻³	zakres	6–23	6–23	4–12	8–40	13–20	2–37
		średnia	–	16	7	24	–	11

Wartość średnia zawiesiny ogólnej w przeprowadzonych badaniach jest identyczna, jak przyjęta w „Kanalizacji wsi”. Zakres stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach bytowych według poszczególnych autorów zawiera się w przedziale od 120 do 450 mg·dm⁻³, natomiast w omawianych badaniach uzyskano w dzie-

sięciu próbkach wartość tego wskaźnika mniejszą od $120 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast w dwudziestu wyższą od $450 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wynika z tego, że zakres stężeń zawiesiny ogólnej w ściekach surowych odprowadzanych z osiedli wiejskich Małopolski jest znacznie szerszy, niż przedstawiany jest w literaturze i zawiera się w przedziale od 78 do $983 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Uzyskana w badaniach minimalna wartość azotu ogólnego ($19 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$) jest zbliżona do wyników badań autorów zagranicznych [Henze i in. 2002; Tchobanoglous i in. 2003], natomiast jest niższa od wartości ustalonych przez autorów krajowych. W czterech próbkach stężenie azotu ogólnego było niższe od $30 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast w siedemnastu mniejsze od $40 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$. Średnie stężenie azotu ogólnego w badanych ściekach było o 48% wyższe niż przedstawiane w literaturze. W dziewięciu próbkach stężenie azotu ogólnego było wyższe niż $140 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$ – podawane jako górna granica w ściekach bytowych według Łomotowskiego i Szpindora [1999]. Maksymalne stężenie azotu ogólnego uzyskane w ramach badań na terenie województwa małopolskiego wyniosło $181 \text{ mgN} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Jako najniższą wartość fosforu ogólnego w ściekach bytowych według Łomotowskiego i Szpindora [1999] przyjęto $6 \text{ mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$, inni autorzy polscy proponują wartości wyższe, odpowiednio 8 i $13 \text{ mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$. W dwudziestu dwóch próbkach nieoczyszczonych ścieków bytowych stężenie fosforu ogólnego było niższe od $6 \text{ mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$. Najniższą uzyskaną wartość wyniosła $2 \text{ mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wartość maksymalna natomiast, wynosząca $37 \text{ mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$, jest niższa od wartości maksymalnej podawanej przez Błażejewskiego [2003]. Uzyskana w badaniach wartość średnia fosforu ogólnego wynosząca $11 \text{ mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$ jest o 45,8% niższa od wartości średniej ustalonej przez Błażejewskiego.

Rozproszenie wartości poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w próbkach charakteryzuje wartość odchylenia standardowego i współczynnika zmienności (tab. 1). Największą zmiennością charakteryzowały się stężenia fosforu ogólnego (współczynnik zmienności równy 59%) i zawiesiny ogólnej (współczynnik zmienności równy 54%), najniższą natomiast wartości ChZT (współczynnik zmienności równy 45%).

Ostatni etap badań dotyczył sprawdzenia podatności badanych ścieków na możliwość biologicznego ich oczyszczenia. Zbadano trzy podstawowe relacje pomiędzy średnimi wartościami określonych wskaźników zanieczyszczeń i otrzymano następujące zależności: $\text{ChZT}:\text{BZT}_5 = 2,23$ (wymagane $\leq 2,2$), $\text{BZT}_5:\text{N}_{\text{og}} = 4,43$ (wymagane ≥ 4), $\text{BZT}_5:\text{P}_{\text{og}} = 28,89$ (wymagane ≥ 25). Pomimo, że niektóre wyliczone zależności utrzymują się na granicy dopuszczalnej, to jednak należy przyjąć, że ścieki odprowadzane z osiedli wiejskich i miejsko-wiejskich województwa małopolskiego można skutecznie poddawać zaawansowanym metodom oczyszczania biologicznego z usuwaniem związków biogenych.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazały, że średnie wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach bytowych, odprowadzanych z osiedli wiejskich i miejsko-wiejskich województwa małopolskiego, różnią się od średnich wartości tych wskaźników przedstawianych w literaturze. Największą różnicę stwierdzono w przypadku azotu ogólnego (wartość wyższa o 48%) i ChZT (wartość wyższa o 4,4%). Natomiast uzyskane w badaniach średnie stężenie fosforu ogólnego, wynoszące $11 \text{ mgP} \cdot \text{dm}^{-3}$, okazało się być o 45,8% niższe od wartości średniej podanej w literaturze.

2. Uzyskane w badaniach maksymalne wartości BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólnej i azotu ogólnego w badanych ściekach były wyższe od wartości maksymalnych przedstawianych w analizowanej literaturze, odpowiednio o 88% (BZT₅), 39% (ChZT), 119% (zawiesina ogólna) i 19% (azot ogólny).

3. Na podstawie zależności pomiędzy wartościami średnimi wskaźników zanieczyszczeń ChZT:BZT₅, BZT₅:N_{og}, BZT₅:P_{og} stwierdzono, że ścieki odprowadzane z osiedli wiejskich i miejsko-wiejskich województwa małopolskiego można skutecznie poddawać zaawansowanym metodom oczyszczania biologicznego z usuwaniem związków biogenych.

4. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że przy projektowaniu oczyszczalni ścieków należy zachować pewną ostrożność w prognozowaniu stężeń zanieczyszczeń w ściekach surowych wyłącznie na podstawie uogólnionych wartości podawanych w literaturze. Wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach rzeczywistych mogą się znacznie różnić pomiędzy poszczególnymi rejonami Polski.

BIBLIOGRAFIA

- Błażejowski R. *Kanalizacja wsi*. PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań 2003
- Heidrich Z., Kalenik M., Podedworna J., Stańko G. *Sanitacja wsi*. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa 2008
- Heidrich Z., Witkowski A. *Urządzenia do oczyszczania ścieków*. Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa 2005
- Henze M., Harremoës P., Jansen J., Arvin E. *Oczyszczanie ścieków*. Procesy biologiczne i chemiczne. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2002
- Łomotowski J., Szpindor A. *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Arkady, Warszawa 1999
- Raport dotyczący rozwoju społeczno-gospodarczego województwa małopolskiego. Województwo Małopolskie 2007. Publikacja elektroniczna, www.malopolskie.pl. 2007
- Tchobanoglous G., Burton F., Stensel D. *Wastewater Engineering*. Treatment and Reuse. Metcalf & Eddy, McGraw-Hill Companies Inc, 2003.

Dr inż. Grzegorz Kaczor
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji,
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków,
tel. (012) 632-57-88, e-mail: rmkaczor@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Jan Kempański*

