

Krzysztof Chmielowski, Stefan Satora, Andrzej Wałęga

OCENA NIEZAWODNOŚCI DZIAŁANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW DLA GMINY TUCHÓW

EVALUATION OF THE RELIABILITY OF THE SEWAGE TREATMENT PLANT FOR THE COMMUNE OF TUCHÓW

Streszczenie

W artykule określono niezawodność działania oczyszczalni ścieków dla gminy Tuchów. Badania przeprowadzono w okresie od stycznia 2005 do grudnia 2006 roku. Analizie fizyko-chemicznej poddano następujące wskaźniki zanieczyszczenia ścieków: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesinę ogólną. W celu określenia poprawnej pracy oczyszczalni obliczono współczynnik niezawodności działania oczyszczalni WN dla każdego z badanych wskaźników. Przedstawiono niezawodność empiryczną. Określono liczbę wystąpień przekroczeń dopuszczalnych wartości wskaźników w stosunku do wartości dopuszczalnej przedstawionej w pozwoleniu wodno-prawnym. Określono również skuteczność zmniejszenia wskaźników w badanym okresie.

Przeprowadzone badania wykazały wysoką skuteczność zmniejszenia zanieczyszczeń: BZT₅ – 90,7%, ChZT_{Cr} – 86,6%, zawiesina ogólna – 90,5%. Obliczone współczynniki niezawodności (WN) badanych wskaźników wyniosły odpowiednio: dla BZT₅ – 0,52, dla ChZT_{Cr} – 0,31 a dla zawiesiny ogólnej 0,62.

Słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia ścieków, skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń, współczynnik niezawodności

Summary

The paper presents the reliability of the sewage treatment plant operation for Tuchów commune. The research was carried out from January 2005 to December 2006. The following sewage pollution ratios were physico-chemically analyzed: BOD₅, COD_{Cr}, total suspended solids. In order to define the proper treatment plant's operation, the reliability coefficient was calculated (RC) for each of the tested indexes. The empiric reliability was presented. The amount of

transgressions of the admissible index values presented in the water-law permission was described. Moreover, the efficiency of the ratios' decrease in the tested period was defined.

The carried out research showed the high efficiency of the pollutants' amount decrease: BOD_5 – 90,7%, COD_{Cr} – 86,6%, total suspended solids – 90,5%. The calculated Reliability Coefficients RC of the analyzed indexes amounted respectively: for BOD_5 – 0,52, for COD_{Cr} – 0,31 and for total suspended solids 0,62.

Key words: *sewage, sewage treatment plant, efficiency of the pollutants' decrease, reliability index*

WSTĘP

Gospodarka wodno-ściekowa obszarów wiejskich w dalszym ciągu charakteryzuje się znacznymi dysproporcjami pomiędzy wybudowanymi wodociągami i kanalizacją. Brak równoległej budowy systemów kanalizacyjnych na terenach wiejskich przyczynił się do powstania znacznych różnic pomiędzy ilością dostarczanej wody, a odprowadzeniem ścieków systemami zbiorczymi [Klugiewicz, Totczyk 1995; Ciupa 1995; Eymontt 2000; Pawełek i in. 2004].

Podstawowym sposobem na odprowadzenie ścieków do naturalnego odbiornika, bez ryzyka jego skażenia bądź pogorszenia warunków biotycznych, jest zmniejszenie wartości zanieczyszczeń w nich zawartych. Problem ten można rozwiązać przez wybudowanie oczyszczalni ścieków.

Dobrze zaprojektowana i poprawnie eksploatowana oczyszczalnia pozwala na zmniejszenie zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych do poziomu narzuconego przez obowiązujące Rozporządzenie. W przypadku większych oczyszczalni ścieków oczyszczanie odbywa się za zwyczaj przy udziale urządzeń osadu czynnego. Rzadziej w dużych oczyszczalniach stosuje się metody filtracyjne.

Ciążące na Polsce zobowiązanie wynikające z prawa wspólnotowego, przede wszystkim z Ramowej Dyrektywy Wodnej, nakłada konieczność wyposażenia w systemy kanalizacyjne aglomeracje powyżej 2000 RLM, kierujące ścieki do lokalnych oczyszczalni. Znaczącym ułatwieniem dla Polski w procesie osiągnięcia standardów unijnych jest rozłożenie procesu dostosowania na dłuższy okres czasu, bowiem wynegocjowane okresy przejściowe sięgają do 2015 roku.

Wybudowanie oczyszczalni nie zwalnia eksploatatora z obowiązku utrzymania ścieków oczyszczonych na odpowiednim poziomie. Konieczne są na bieżąco wykonywane pobory próbek ścieków surowych i oczyszczonych a następnie określenie wartości wskaźników zanieczyszczeń. Na podstawie takich danych można określić efektywność usuwania zanieczyszczeń, a także określić współczynniki niezawodności dla poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia ścieków.

CEL PRACY I METODYKA BADAŃ

Celem artykułu była ocena działania oczyszczalni ścieków w Tuchowie. Badano następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesinę ogólną. Okres badań obejmował przedział czasowy od kwietnia 2005 do grudnia 2006 roku. Dane dotyczące wartości wskaźników w ściekach surowych i oczyszczonych pozyskane zostały z laboratorium znajdującego się przy oczyszczalni ścieków. Na podstawie wartości wskaźników zanieczyszczeń ścieków surowych i oczyszczonych określono skuteczność zmniejszenia ich wartości. W celu określenia niezawodności oczyszczalni ścieków w Tuchowie określono współczynnik niezawodności WN dla badanych wskaźników zanieczyszczenia ścieków.

$$WN = \frac{\mu_x}{X_{dop}} \quad (1)$$

gdzie:

μ_x – wartość średnia wskaźnika zanieczyszczenia w ściekach oczyszczonych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],

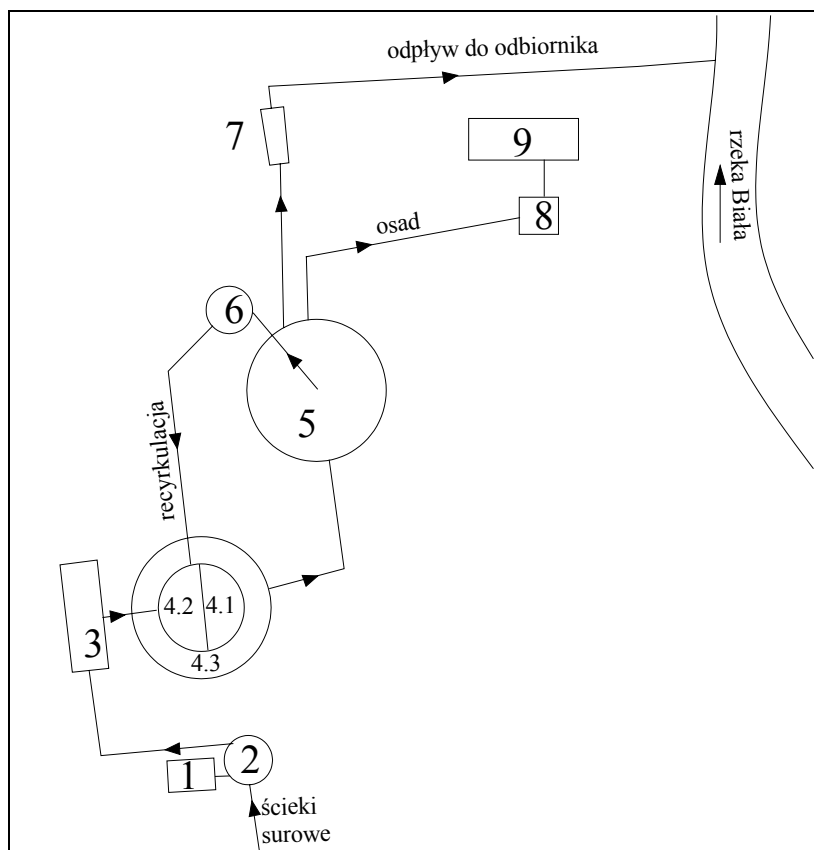
X_{dop} – wartość dopuszczalna danego wskaźnika zanieczyszczenia w ściekach oczyszczonych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Ponadto określono ilość przekroczeń wartości dopuszczalnych wskaźników w stosunku do wartości przedstawionych w pozwoleniu wodno-prawnym wydanym przez stosowny organ.

Analizowano także ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w okresie badawczym w poszczególnych miesiącach.

OPIS OBIEKTU BADAŃ

Opisywana oczyszczalnia ścieków znajduje się w województwie małopolskim w miejscowości Tuchów. Oczyszczalnia została zaprojektowana na przepływ ścieków równy $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (średni dobowy). Do oczyszczalni dopływają głównie ścieki bytowe i deszczowe, a w niewielkiej ilości $50 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ścieki dowożone (tj. $37 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ stanowią ścieki z szamb, natomiast $13 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ścieki z trzech rzeźni i masarni). Na rysunku 1 przedstawiono schemat oczyszczalni ścieków w Tuchowie.



Rysunek 1. Schemat oczyszczalni ścieków w Tuchowie (1 – zlewnia ścieków dowożonych, 2 – przepompownia, 3 – budynek z krato-piaskownikiem, 4.1 – komora defosfatacji, 4.2 – komora predenitryfikacji, 4.3 – komora nitryfikacji, 5 – osadnik wtórny radialny, 6 – przepompownia osadu recykulowanego, 7 – komora pomiarowa, 8 – prasa do osadu, 9 – komora tlenowej stabilizacji osadu)

Figure 1. Scheme of the treatment plant in Tuchów (1 – drench of the incoming sewage, 2 – sewage pumping station, 3 – building with grid-sand separator, 4.1 – dephosphatation chamber, 4.2 – pre-denitrification chamber, 4.3 – nitrification chamber, 5 – radial settlement tank, 6 – re-circulated sludge pumping station, 7 – measuring chamber, 8 – sludge press, 9 – aerobic sludge stabilization chamber)

Ścieki surowe dopływają w pierwszej kolejności do przepompowni i dalej dostają się do pierwszego urządzenia z części mechanicznej, tj. do łukowej kraty ze zgarniaczem mechanicznym. Następnie ścieki dopływają do piaskownika poziomego przedmuchiwanego. Część biologiczną zaczyna reaktor, w którym zachodzą procesy jednostkowe:

– biologiczna defosfatacja fosforu zachodząca wskutek stresu biologicznego wywoływanego przejściem mikroorganizmów PAO z warunków beztlenowych do tlenowych,

– kaskadowa denitryfikacja azotu azotanowego do wolnego azotu, zachodząca przy udziale mikroorganizmów heterotroficznych, dla których substratem organicznym są związki węgla zawarte w doprowadzanych ściekach,

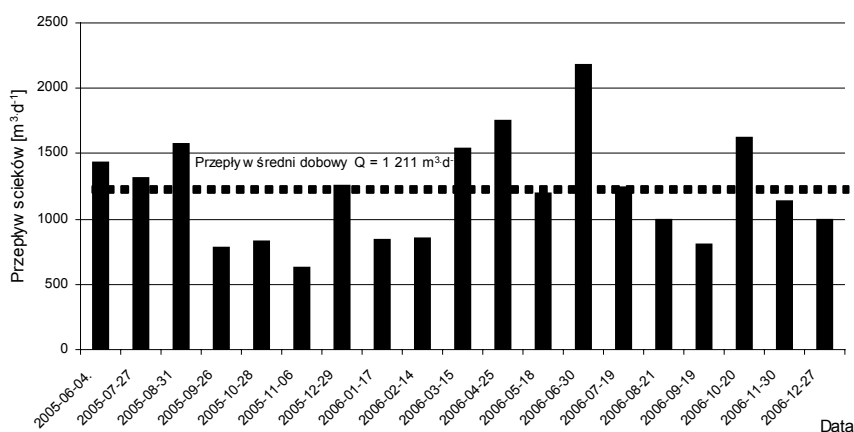
– nityfikacja azotu amonowego do azotanów.

Ścieki z komory defosfatacji dopływają do dwóch komór denitryfikacji, przy czym do jednej komory dopływa 45%, do drugiej 55%. Taki rozdział ścieków zapewnia przegroda usytuowana w korycie doprowadzającym. W komorach denitryfikacji, w warunkach anaerobowych, przebiega proces denitryfikacji azotu amonowego do wolnego azotu, przy udziale związków węgla zawartych w ściekach. Z każdej komory denitryfikacji ścieki przepływają do 2 komór biologicznego oczyszczania i nityfikacji. Stężenie tlenu w tych komorach wynosi $2 \text{ gO}_2/\text{m}^3$. Następnie ścieki dopływają do osadnika wtórnego, gdzie przebiega proces sedymentacji osadu czynnego. Ścieki oczyszczone z osadnika odprowadzane są do pobliskiej rzeki Białej, która stanowi odbiornik ścieków.

Według pozwolenia wodno-prawnego dopuszczalne stężenie zanieczyszczenia ścieków oczyszczonych nie powinno przekroczyć następujących wartości: BZT_5 $30 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, ChZT_{Cr} $150 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$, zawiesina ogólna $50 \text{ mg}/\text{dm}^3$, azot ogólny $30 \text{ mgN}_{\text{og}}/\text{dm}^3$, fosfor ogólny $5 \text{ mgP}_{\text{og}}/\text{dm}^3$.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na rysunku 2 przedstawiono ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w Tuchowie w okresie od lipca 2005 roku do grudnia 2006 roku.



Rysunek 2. Zestawienie przepływów chwilowych oczyszczalni w Tuchowie
Figure 2. Comparison of the average monthly flows in the treatment plant in Tuchów

Na podstawie danych zawartych na rysunku 2 można stwierdzić, że przepływ minimalny wyniósł $632 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, podczas gdy przepływ maksymalny ukształtował się na poziomie $2185 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Wartość średnia przepływu ścieków przez oczyszczalnię wyniosła $1211 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań dotyczące wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczenia w ściekach surowych.

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki zanieczyszczeń zawartych w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków w Tuchowie

Table 1. Basic characteristics of the pollutants in the raw sewage incoming to the Tuchów sewage treatment plant

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	BZT ₅	ChZT _{Cr}	Zawiesina ogólna
Liczba próbek	–	szt.	21	21	21
Średnia	μx	mg dm^{-3}	181,2	393,0	389,2
Minimum	Min	mg dm^{-3}	42,2	116,2	42,2
Maksimum	Max	mg dm^{-3}	633,6	957,6	1570,1
Mediana	$m x$	mg dm^{-3}	148,2	309,6	203,5
Rozstęp	–	mg dm^{-3}	591,4	841,4	1527,9
Odchylenie standardowe	σx	mg dm^{-3}	144,7	248,4	396,5

Analizując dane zawarte na tabeli 1, można stwierdzić że wartość BZT₅ ścieków surowych wahała się w przedziale od 42,2 do 633,6 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, wartość średnia uplasowała się na poziomie 181,2 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Mediana BZT₅ wyniosła 148,2 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Porównując te dane z literaturą fachową [Hanze i in. 1995; Sikorski 1994; Błażejowski 1994] są to wartości niskie. Wartość ChZT_{Cr} ścieków surowych wahała się w przedziale od 116,2 do 957,6 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ wartość średnia wyniosła 393 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Mediana ChZT_{Cr} ukształtowała się na poziomie 309,6 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Są to wartości z szerokiego zakresu, na co może wskazywać wysoka wartość rozstępu ChZT_{Cr} wynosząca 841,1 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Podobna sytuacja jest w przypadku stężenia zawiesiny ogólnej, której wartości mieściły się w przedziale od 42,2 mg dm^{-3} do 1570,10 mg dm^{-3} . Odchylenie standardowe dla zawiesiny ogólnej było wysokie i wyniosło 396,5 mg dm^{-3} . Średnie stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach surowych uplasowało się na poziomie 389,2 mg dm^{-3} , a mediana wyniosła 203,5 mg dm^{-3} . Tak duża zmienność ChZT_{Cr} i zawiesiny ogólnej może sugerować dopływ ścieków deszczowych do kanalizacji zbiorczej. Świadczą o tym większe ilości dopływających ścieków w miesiącach wiosenno-letnich (rys. 2).

Tabela 2. Podstawowe charakterystyki zanieczyszczeń zawartych w ściekach oczyszczonych odpływających z oczyszczalni ścieków w Tuchowie
Table 2. Basic characteristics of the pollutants in the treated sewage coming out of the Tuchów sewage treatment plant

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	BZT ₅	ChZT _{Cr}	Zawiesina ogólna
Liczba próbek	–	szt.	21	21	21
Średnia	μx	mg dm ⁻³	13,0	38,6	21,7
Minimum	Min	mg dm ⁻³	3,1	10,2	5,7
Maksimum	Max	mg dm ⁻³	50,6	150,1	64,8
Mediana	mx	mg dm ⁻³	9,2	32,2	20,1
Rozstęp	–	mg dm ⁻³	47,5	139,9	59,1
Odchylenie standardowe	αx	mg dm ⁻³	12,0	30,6	15,1

Analizując dane zawarte w tabeli 2, można stwierdzić, że średnia wartość BZT₅ ścieków oczyszczonych wyniosła 13,0 mgO₂dm⁻³. Jest to niska wartość świadcząca o poprawnej pracy oczyszczalni. Minimalna wartość BZT₅ wyniosła 3,1 mgO₂dm⁻³, a maksymalna uplasowała się na poziomie 50,6 mgO₂dm⁻³. Mediana BZT₅ ukształtowała się poziomem 9,5 mgO₂dm⁻³.

Wartość ChZT_{Cr} w ściekach oczyszczonych wahała się w przedziale od 10,2 mgO₂dm⁻³ do 150,1 mgO₂dm⁻³. Mediana tego wskaźnika wyniosła 32,2 mgO₂dm⁻³, podczas gdy wartość średnią określono na poziomie 38,6 mgO₂dm⁻³. Rozstęp ChZT_{Cr} w badanym okresie wyniósł 139,9 mgO₂dm⁻³.

Średnie stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych wyniosło 21,7 mgdm⁻³. Minimalne stężenie zawiesiny ogólnej wyniosło 5,7 mgdm⁻³, a maksymalne uplasowało się na poziomie 64,8 mgdm⁻³. Mediana zawiesiny ogólnej uplasowała się poziomem 21 mgdm⁻³. Odchylenie standardowe tego wskaźnika wyniosło 15,1 mgdm⁻³.

W dalszej kolejności (tab. 3) przedstawiono wyniki dotyczące podstawowych charakterystyk zmniejszenia zanieczyszczeń w badanych wskaźnikach.

Analizując dane zawarte w tabeli 3, można zauważyć, że średnia skuteczność zmniejszania BZT₅ w badanym okresie wyniosła 90,7%, podczas gdy minimalna redukcja ukształtowała się na poziomie 71,2%, a maksymalna 98,8%. Mediana skuteczności zmniejszenia BZT₅ osiągnęła poziom 92,3%.

Skuteczność zmniejszenia ChZT_{Cr} wahała się od 54,2 do 98,2 %. Średnia skuteczność zmniejszenia ChZT_{Cr} wyniosła 86,6 %.

Średnia skuteczność zmniejszania zawiesiny ogólnej wyniosła 90,5%. Mediana skuteczności zmniejszenia zawiesiny ogólnej osiągnęła poziom 92,4%. Minimalna redukcja ukształtowała się na poziomie 65%, a maksymalna 99,2%.

Tabela 3. Podstawowe charakterystyki zmniejszania zanieczyszczeń ścieków w oczyszczalni w Tuchowie

Table 3. Basic characteristics of decreasing the sewage pollution in the treatment plant in Tuchów

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	BZT ₅	ChZT _{Cr}	Zawiesina ogólna
Średnia	μx	%	90,7%	86,6%	90,5%
Minimum	Min		71,2%	54,2%	65%
Maksimum	Max		98,8%	98,2%	99,2%
Mediana	mx		92,3%	88,9%	92,4%
Rozstęp	–		27,7%	44,1%	34,1%
Odchylenie standardowe	αx		6,6%	10,9%	9,1%

W tabeli 4 zestawiono wyniki niezawodności pracy oczyszczalni ścieków w Tuchowie.

Tabela 4. Wyniki niezawodności pracy oczyszczalni ścieków w Tuchowie

Table 4. Results of the reliability of the sewage treatment plant in Tuchów

Parametr	Oznaczenie	Jednostka	BZT ₅	ChZT _{Cr}	Zawiesina ogólna
Wartość dopuszczalna	X _{dop}	mg·dm ⁻³	25,0	125,0	35,0
Średnia	μx	mg·dm ⁻³	13,0	38,6	21,7
Współczynnik niezawodności	WN	–	0,52	0,31	0,62
Ilość przekroczeń	–	Szt.	3	1	3

Na podstawie danych zawartych w tabeli 4 można stwierdzić, że współczynnik niezawodności wahał się od 0,31 dla ChZT_{Cr} do 0,62 dla zawiesiny ogólnej. Dla BZT₅ współczynnik niezawodności wyniósł 0,52. Są to niskie wartości współczynnika niezawodności świadczące o poprawnej pracy oczyszczalni ścieków w Tuchowie. Na 21 badanych próbek ścieków oczyszczonych stwierdzono po 3 przekroczenia wartości dopuszczalnych dla BZT₅ i zawiesiny ogólnej, natomiast w przypadku ChZT_{Cr} stwierdzono jedno przekroczenie.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Oceniając działanie oczyszczalni ścieków w Tuchowie, należy stwierdzić poprawną jej pracę w badanym okresie, tj. od stycznia 2005 do grudnia 2006 roku.

2. Średnia ilość ścieków dopływających do oczyszczalni wyniosła $1211 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.
3. Średnia skuteczność zmniejszenia BZT_5 w oczyszczalni ukształtowała się na wysokim poziomie 90,7%. Stwierdzono 3 przekroczenia wartości dopuszczalnej na 21 analizowanych próbek ścieków,
4. Średnia skuteczność zmniejszenia chzt_{cr} w oczyszczalni ukształtowała się również na wysokim poziomie 86,6% i stwierdzono 1 przekroczenie wartości dopuszczalnej,
5. Średnia skuteczność zmniejszenia zawiesiny ogólnej w oczyszczalni wyniosła 90,5%, co stanowi bardzo dobry wynik i świadczy o tym, że proces sedymentacji zachodzi z dużą efektywnością. Stwierdzono 3 przekroczenia wartości dopuszczalnej na 21 analizowanych próbek ścieków,
6. Współczynnik niezawodności badanych wskaźników ukształtował się na niskim poziomie i odpowiednio wyniósł: dla BZT_5 - 0,52, dla chzt_{cr} - 0,31, a dla zawiesiny ogólnej 0,62. Są to niskie wartości współczynnika niezawodności świadczące o poprawnej pracy oczyszczalni ścieków w Tuchowie.

BIBLIOGRAFIA

- Błażejowski R. *Przegląd indywidualnych systemów oczyszczania ścieków stosowanych w kraju i na świecie*. Ogólnopolskie Seminarium Szkoleniowe. Poznań 1994.
- Ciupa R. *Porównanie kosztów budowy, eksploatacji i osiągniętych efektów oczyszczania wybranych typów małych oczyszczalni ścieków w północno-wschodniej Polsce*. Techniczno-technologiczne aspekty użytkowania małych oczyszczalni ścieków. Materiały z VIII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo Technicznej z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”. Pod redakcją Elżbiety H. Grygorczuk-Petersons. Kontenerowe i Przydomowe Oczyszczalnie Ścieków. Białystok 1995, s. 143–147.
- Eymontt A. 2000. *Możliwości zastosowania nowych materiałów i rozwiązań technicznych w projektowaniu i wykonawstwie systemów odprowadzania ścieków na wsiach*. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, z. 72, s. 341–350.
- Hanze M., Harremoes P., Jansen J., Arvin F. *Wastewater Treatment*. Biological and Chemical Processes. Springer Verlag, 1995.
- Klugiewicz J. Totczyk G. *Zastosowanie kontenerowych oczyszczalni ścieków z TZB na terenach rolniczo-przemysłowych*. Techniczno-technologiczne aspekty użytkowania małych oczyszczalni ścieków. Materiały z VIII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo Technicznej z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”. Pod redakcją Elżbiety H. Grygorczuk-Petersons. Kontenerowe i Przydomowe Oczyszczalnie Ścieków. Białystok 1995, s. 119–127.
- Pawełek J., Kaczor G., Bergel T. 2004. Wybrane zagadnienia ilościowo-jakościowe ścieków bytowych odprowadzanych wiejskimi systemami kanalizacyjnymi. Ogólnopolska konferencja naukowo – techniczna pt. „Kanalizacja wsi – stan obecny, perspektywy rozwoju”. Poznań-Puszczykowo, s 1-24.
- Sikorski M. *Oczyszczanie i oczyszczalnie w Polsce*. Wiadomości Melioracyjne nr 4, 1994.

Krzysztof Chmielowski, Stefan Satora, Andrzej Wałęga

Dr inż. Krzysztof Chmielowski,
Dr hab. inż. Stefan Satora prof. UR,
Dr inż. Andrzej Wałęga
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Recenzent: *Prof. dr hab. Jan Kempański*