

**EWELINA PŁUCIENNIK-KOROPCZUK<sup>\*</sup>,  
MAGDALENA WOJCIECH<sup>\*\*</sup>**

## **ANALIZA STATYSTYCZNEJ ZMIENNOŚCI SKŁADU ŚCIEKÓW W MECHANICZNO-BIOLOGICZNEJ OCZYSZCZALNI**

### *Streszczenie*

*W pracy przedstawiono wyniki analizy statystycznej zmienności składu ścieków w kolejnych procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania. Rozkład stężeń zanieczyszczeń oraz podstawowe wartości statystyk opisowych przedstawiono za pomocą wykresów pudełkowych. Wykonano również oceny współzależności między wskaźnikami  $ChZT_{Cr}$ ,  $BZT_5$  i  $OWO$  dla próbek ścieków po kolejnych procesach oczyszczania.*

Słowa kluczowe: zmiany składu ścieków,  $ChZT_{Cr}$ ,  $BZT_5$ ,  $OWO$ , zawiesina ogólna, statystyczne miary, wykres pudełkowy, korelacja

### **WPROWADZENIE**

Skład ścieków miejskich jest zróżnicowany, zmienny w czasie i zależy od wielu czynników m.in. od charakteru i wielkości aglomeracji oraz udziału ścieków przemysłowych [Dymaczewski i in. 1997, Klimiuk i in. 2008].

Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego określa minimalną częstotliwość pobierania próbek ścieków do kontroli pracy oczyszczalni. Częstotliwość uzależniona jest m.in. od wielkości oczyszczalni oraz postanowień w pozwoleniu wodnoprawnym [Dz. U. 06. 137. 984, Dz. U. 09. 27. 169].

W dużych oczyszczalniach standardem staje się komputerowa wizualizacja procesu technologicznego. Równoległe z badaniami wykonywanymi w laboratorium prowadzony jest monitoring innych parametrów np. natężenia przepływu

---

\* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska, Zakład Technologii Wody, Ścieków i Odpadów

\*\* Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Matematyki, Informatyki i Ekonometrii; Zakład Statystyki Matematycznej i Ekonometrii

ścieków, osadów, stężenia tlenu rozpuszczonego w komorach osadu czynnego itp.

Ciągły monitoring jakości ścieków w oczyszczalni dostarcza wielu danych, które po opracowaniu statystycznym są cennym źródłem informacji na temat poprawności przebiegu procesów w ciągu technologicznym oczyszczalni.

Właściwa analiza danych zebranych w czasie eksploatacji pozwala lepiej zrozumieć istotę procesów zachodzących w danej oczyszczalni oraz ogranicza błędy technologiczne w czasie eksploatacji i w czasie podejmowania decyzji o modernizacji [Dymaczewski i in. 1997].

### STATYSTYCZNE METODY OPRACOWYWANIA DANYCH

Po uzyskaniu pomiarów wartości zmiennych dokonywanych w oczyszczalni ścieków można podać wstępną charakterystykę zasadniczych własności tych wielkości. Podstawowymi miarami klasycznymi i pozycyjnymi za pomocą których można opisać badane cechy ilościowe są [Koronacki J., Mielniczuk J. 2001, Ostasiewicz i in. 1995, Makać W., Urbanek-Krzysztofiak D., 1995]:

- Średnia arytmetyczna wartości cechy w próbie, jest wyznaczana na podstawie wszystkich pomiarów dokonanych w badaniu, stąd jest bardzo wrażliwa na wartości odstające.
- Kwartyle, dolny, środkowy (mediana) i górny, dzielą próbę uporządkowaną od wartości najmniejszej do największej na cztery równe części: do pierwszej części należą elementy próby od najmniejszego do dolnego kwartyla, do drugiej części elementy od dolnego kwartyla do mediany, do trzeciej od mediany do kwartyla trzeciego i do ostatniej części należą elementy próby od górnego kwartyla do pomiaru największego. Kwartyle nie są wrażliwe na wartości skrajne w próbie.
- Odchylenie standardowe, jest to miara zmienności ukazująca rozproszenie pomiarów w stosunku do wartości średniej arytmetycznej z tych pomiarów. Wskaźnik ten nie jest odporny na wartości odstające w próbie.
- Współczynnik zmienności informuje o rozproszeniu wartości pomiarów w odniesieniu do wielkości średniej. Z tego względu, że jest wielkością niemianowaną, pozwala na porównanie zmienności tej samej cechy w kilku grupach lub kilku różnych cech w tej samej zbiorowości. Najczęściej wyraża się go w procentach. W przypadku analizy zmiennych charakteryzujących się różnymi poziomami średniej w porównywanych grupach, ocenę stopnia ich rozproszenia powinno się przeprowadzać na podstawie współczynników zmienności.

Bardzo dobrym i czytelnym narzędziem prezentacji pomiarów uzyskanych w badaniu są różne techniki ich wizualizacji. Użycie odpowiednich metod graficznej prezentacji danych jest uzależnione od celu badań. Przykładowo do

przedstawienia rozkładu pojedynczych zmiennych ilościowych, czy też do porównań rozkładów pomiarów tej samej zmiennej w różnych grupach, służą m.in.: wykresy pudełkowe, histogramy, skategoryzowane wykresy statystyczne. Bardzo dobrym narzędziem prezentacji danych są wykresy pudełkowe ze względu na to, że pozwalają na szybkie podsumowanie danych oraz uwidaczniają ich symetryczność albo asymetrię, oraz pozwalają uchwycić stopień zróżnicowania danych w porównywanych grupach. Jeżeli natomiast jesteśmy zainteresowani badaniem współzależności dwóch cech ilościowych, to odpowiednim wykresem uwidaczniającym siłę, kierunek i postać tej zależności jest wykres rozrzutu. Jeżeli potwierdzona zostanie istotna współzależność liniowa między zmiennymi, to możemy podać ilościową charakterystykę badanej relacji stosując metody regresji liniowej [Koronacki J., Mielniczuk J. 2001].

Wiele parametrów kontrolowanych w oczyszczalniach ścieków jest ze sobą powiązanych. Wzajemne oddziaływanie dwóch parametrów na siebie zwane jest korelacją. Do oceny siły i kierunku korelacji liniowej najczęściej wykorzystuje się współczynnik  $r$  korelacji Pearsona. Współczynnik ten jest czuły na obserwacje odstające. Po stwierdzeniu, że między parametrami istnieje korelacja można np. zmniejszyć częstotliwość wykonywania niektórych analiz laboratoryjnych lub też ustalić pewne współczynniki przeliczeniowe pozwalające wstępnie oszacować wynik pomiaru [Hermanowicz i in. 1999, Łomotowski i in. 1999].

Stwierdzenie, że między różnymi wskaźnikami istnieje korelacja ma duże znaczenie interpretacyjne, gdyż umożliwia zastąpienie oznaczania jednego wskaźnika innym, np. tym którego analiza jest łatwiejsza lub też pozwala na szybsze uzyskanie wyników [Heidrich i in. 2008].

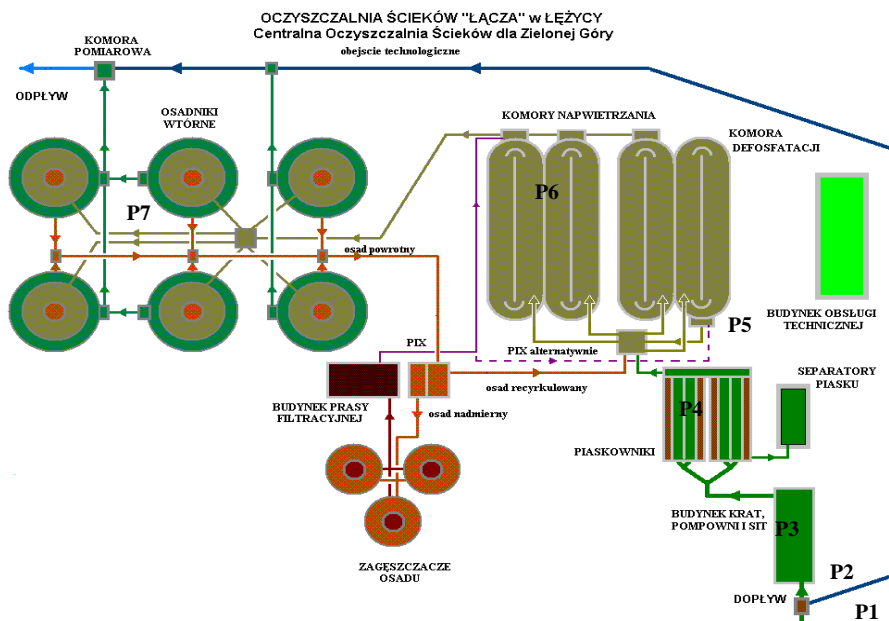
## CEL I OBIEKT BADAŃ

Celem badań jest ocena zmienności składu ścieków w ciągu technologicznym oczyszczalni. Badania prowadzono w oczyszczalni ścieków dla miasta Zielona Góra o przepustowości  $Q_{d\dot{s}r} = 51\,225\text{ m}^3/\text{d}$ , zaprojektowanej w układzie mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków z biologiczną defosfatacją, denitryfikacją i nityfikacją oraz chemicznym strącaniem fosforu. Schemat technologiczny oczyszczalni „Łącza” przedstawiono na rys. 1.

Ścieki z miasta doprowadzane są kanałem otwartym o długości ponad 7 km. Oczyszczalnia wyposażona jest w opomiarowany punkt zlewny ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym. Udział ścieków przemysłowych w ściekach miejskich doprowadzanych do oczyszczalni nie przekracza 10%.

Badania prowadzono w 2010 r. Próbki ścieków pobierano w wytypowanych punktach kontrolnych wiosną, latem, jesienią i zimą. W każdej porze roku

próbki pobierano dwukrotnie. W pobranych próbkach ścieków wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.



Rys. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków dla Zielonej Góry wraz z miejscami poboru próbek ścieków

Fig. 1. The technology diagram of the WWTP for Zielona Góra with the wastewater sampling points

Analizowano zmiany wartości wskaźników  $ChZT_{Cr}$ ,  $BZT_5$ , OWO i zawiesiny ogólnej, w ściekach po kolejnych procesach oczyszczania, a także sprawdzano współzależność między tymi wskaźnikami zanieczyszczeń. Rozkład stężeń zanieczyszczeń w ściekach po kolejnych procesach w ciągu mechaniczno-biologicznego oczyszczania oraz podstawowe wartości statystyk opisowych przedstawiono za pomocą wykresów pudełkowych. Wykonano również oceny współzależności między wskaźnikami  $ChZT_{Cr}$ ,  $BZT_5$  i OWO dla próbek ścieków po kolejnych procesach oczyszczania.

### POBÓR PRÓBEK I METODYKA BADAŃ

Próbki ścieków do badań pobierano zgodnie z PN-ISO 5667-10:1997 z następujących punktów pomiarowych:

P1 – ścieki surowe (z otwartego kanału dopływowego),

- P2 – ścieki po kratkach (z komory krat rzadkich),
- P3 – ścieki po sitach (z kanału otwartego za budynkiem krat),
- P4 – ścieki po piaskownikach (z kanału otwartego za piaskownikami),
- P5 – ścieki po beztlenowej komorze osadu czynnego (z krawędzi przelewowej),
- P6 – ścieki po komorze nityfikacji/denitryfikacji (z krawędzi przelewowej),
- P7 – ścieki po osadnikach wtórnych (z komory zbiorczej)

Miejsca poboru próbek ścieków w ciągu technologicznym oczyszczalni zaznaczono na schemacie technologicznym (rys. 1).

W średniodobowych próbkach ścieków surowych, oczyszczonych i po kolejnych procesach jednostkowych oznaczono:

- chemiczne zapotrzebowanie tlenu, ChZT – metodą z dwuchromianem potasu według PN-74/C-04578.03, PN-ISO 6060:2006,
- biochemiczne zapotrzebowanie na tlen, BZT<sub>5</sub> – metodą manometryczną za pomocą systemu pomiarowego OxiTop Control OC110 firmy WTW,
- ogólny węgiel organiczny, OWO – za pomocą analizatora ogólnego węgla organicznego TOC-V CSN firmy Shimadzu,
- zawiesinę ogólną, metodą wagową z zastosowaniem filtrów membranowych, według PN-EN 872:2005.

## WYNIKI BADAŃ

Zmiany stężeń zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej w ciągu technologicznym oczyszczalni przedstawione w postaci wskaźników statystycznych zestawiono w tabeli 1. Graficzną interpretację rozkładu stężeń zanieczyszczeń w ściekach po kolejnych procesach w ciągu mechaniczno-biologicznego oczyszczania przedstawiono na rys. 2 i 3. Wykresy pudełkowe analizowanych wskaźników, wykonano w skali logarytmicznej o podstawie 10, co zwiększyło ich przejrzystość.

Z tego względu, że wielkości badanych wskaźników w punktach od P1 do P7, znacznie różniły się wartościami średnimi, do oceny stopnia rozproszenia wyników pomiarów zastosowano współczynnik zmienności  $V$ . Zmiany wartości tego współczynnika dla stężeń zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej w zależności od punktu pomiarowego przedstawiono na rys. 4.

Na podstawie zmian wartości wskaźników ChZT<sub>Cr</sub>, BZT<sub>5</sub> i OWO należy stwierdzić, że ścieki surowe dopływające do oczyszczalni charakteryzowały się zbliżonym składem. Wartości wskaźników ChZT<sub>Cr</sub>, BZT<sub>5</sub> i OWO w ściekach surowych w kolejnych seriach pomiarowych zmieniały się nieznacznie o czym świadczą niskie wartości współczynnika zmienności  $V$  (14,7-17,6%) wyznaczone dla ścieków pobieranych w punkcie P1. W ściekach surowych stwierdzo-

no natomiast duże zróżnicowanie zawiesiny ogólnej, wartość współczynnika zmienności wynosiła 68,8% (rys. 4).

*Tab. 1. Zmiany stężeń zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej w ściekach po kolejnych procesach oczyszczania*

*Tab. 1. The concentration changes of organic pollutants and suspended solids in wastewater after successive treatment processes*

Wskaźnik indicator	Statystyki opisowe descriptive statistics	Miejsce poboru próbek Place of sampling						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
ChZT <sub>Cr</sub> , mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	$\bar{X}$	666,3	685,0	926,5	693,0	5280,0	5345,0	40,0
	SD	97,8	166,3	248,8	259,5	953,3	1057,4	9,3
	V [%]	14,7	24,3	26,9	37,4	18,1	19,8	23,3
	Me	672,0	710,0	885,0	658,0	5200,0	5300,0	42,0
BZT <sub>5</sub> , mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	$\bar{X}$	321,6	332,1	449,0	328,5	2162,6	2045,4	6,2
	SD	49,2	77,1	94,2	145,2	347,2	480,2	1,4
	V [%]	15,3	23,2	21,0	44,2	16,1	23,5	21,9
	Me	312,0	354,0	430,0	268,0	2270,0	2150,0	5,9
OWO, mgC/dm <sup>3</sup>	$\bar{X}$	171,4	158,6	218,9	170,0	1070,8	1100,8	11,0
	SD	30,1	56,0	37,6	77,9	131,1	159,2	2,4
	V [%]	17,6	35,3	17,2	45,8	12,2	14,5	21,5
	Me	176,0	168,4	215,8	133,1	1082,3	1111,7	10,9
Zawiesina ogólna mg/dm <sup>3</sup>	$\bar{X}$	420,5	352,9	1223,1	883,0	5834,8	5864,5	18,6
	SD	289,4	274,3	923,6	474,9	1915,7	1786,0	11,6
	V [%]	68,8	77,7	75,5	53,8	32,8	30,5	62,1
	Me	306,5	257,0	1167,5	785,5	5759,0	5618,0	17,5

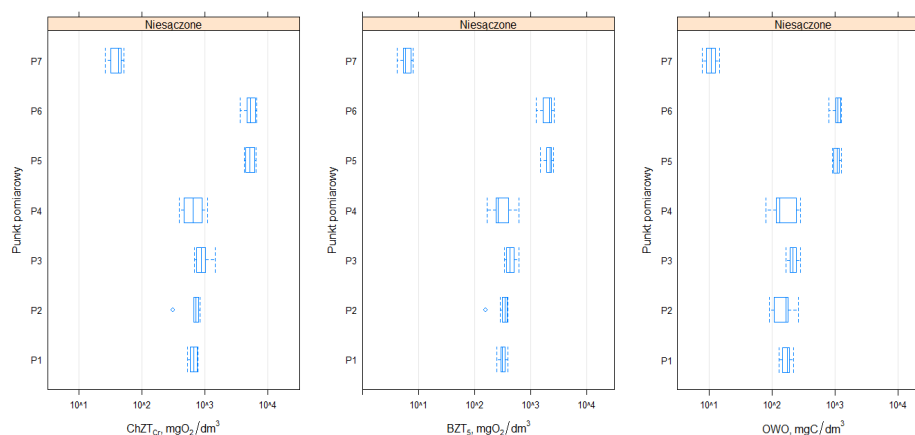
$\bar{X}$  - średnia arytmetyczna, SD - odchylenie standardowe, Me - mediana, V - współczynnik zmienności, liczebność próbek n = 8.

W ściekach w części mechanicznej oczyszczalni (punkty P2-P4) zaobserwowano większe zróżnicowanie wartości wskaźników zanieczyszczeń, potwierdzone wyższymi wartościami współczynnika zmienności V. Taka zmienność może być wynikiem zastosowania w układzie technologicznym recyrkulacji przed sita cieczy nadosadowej z zagęszczacza grawitacyjnego. W punkcie P4 stwierdzono największą niejednorodność wyników ChZT<sub>Cr</sub>, BZT<sub>5</sub> i OWO.

Analizując wykresy pudełkowe, widoczne jest, że wartości wskaźników zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej w próbkach ścieków pobranych w części biologicznej oczyszczalni (punkty P5 i P6) były kilkakrotnie wyższe.

Analiza wyników pomiarów uzyskanych w tej części oczyszczalni, wykazała mniejsze zróżnicowanie wartości wskaźników ChZT<sub>Cr</sub> i BZT<sub>5</sub> w porównaniu do ich wartości w części mechanicznej. Dla OWO i zawiesiny ogólnej zróżnicowa-

nie wartości w punktach P5 i P6 było mniejsze niż w ściekach surowych i w ściekach w części mechanicznej oczyszczalni.



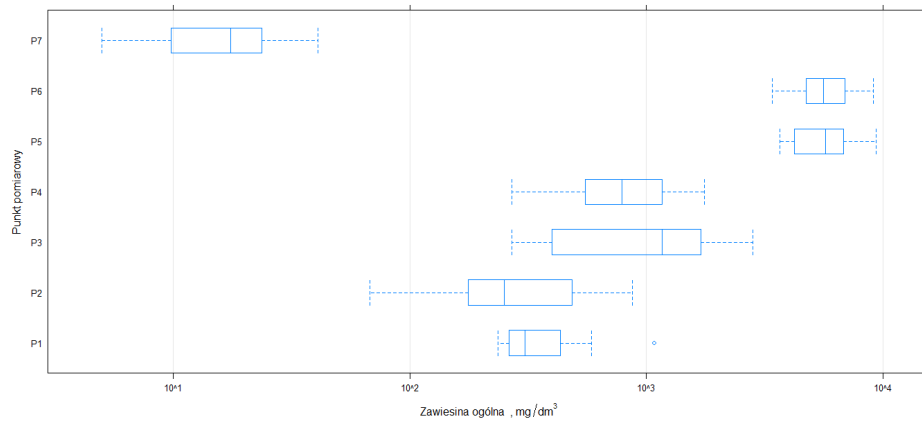
Rys. 2. Rozkład stężeń zanieczyszczeń organicznych w ściekach w ciągu technologicznym oczyszczalni [oprac. aut.]

Fig. 2. The distribution of organic pollutants concentrations in wastewater during treatment technology [aut. develop.]

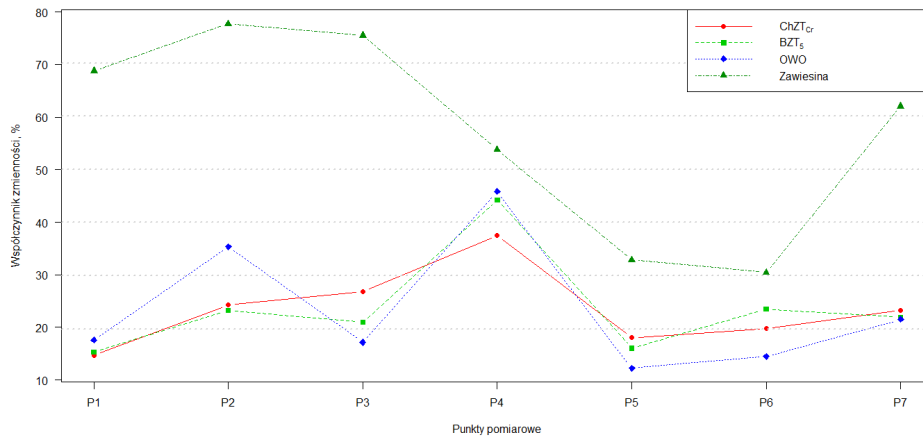
W próbkach ścieków oczyszczonych odprowadzanych z obiektu wartości wskaźników zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej były najniższe i zgodne z wymaganiami stawianymi ściekom oczyszczonym. Jednocześnie jednak wyznaczone w tym punkcie wartości współczynnika zmienności  $V$  są wysokie, dla wskaźników ChZT<sub>Cr</sub>, BZT<sub>5</sub> i OWO na poziomie około 20%, a dla zawiesiny około 60%, co wskazuje na niejednorodność wyników pomiarów.

Wyniki analizy współzależności między wskaźnikami zanieczyszczeń organicznych ChZT<sub>Cr</sub>, BZT<sub>5</sub> i OWO w ściekach po kolejnych procesach oczyszczania przedstawiono na rys. 5-7.

Przeprowadzone analizy korelacyjne pomiędzy wskaźnikami ChZT<sub>Cr</sub> i BZT<sub>5</sub> wykazały bardzo silne zależności w ściekach pobranych w punktach P2-P4, natomiast w punktach P1 i P5 zależności te były słabsze. Niskie wartości współczynnika korelacji stwierdzono dla ścieków oczyszczonych punkt P7, co może świadczyć o znacznej zawartości w ściekach oczyszczonych zanieczyszczeń niebiodegradowalnych (rys. 5).

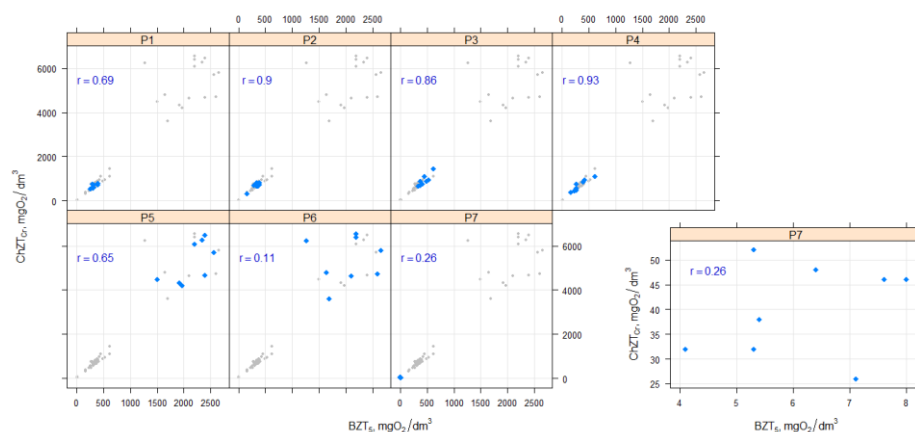


Rys. 3. Zawiesina ogólna w ściekach w ciągu technologicznym oczyszczalni [oprac. aut.]  
 Fig. 3. Suspended solids in the wastewater during treatment technology [aut. develop.]



Rys. 4. Zmiany wartości współczynnika zmienności  $V$  dla badanych wskaźników względem punktów pomiarowych [oprac. aut.]  
 Fig. 4. Changes in the value of the coefficient of variation  $V$  for the examined indicators in the measuring points [aut. develop.]

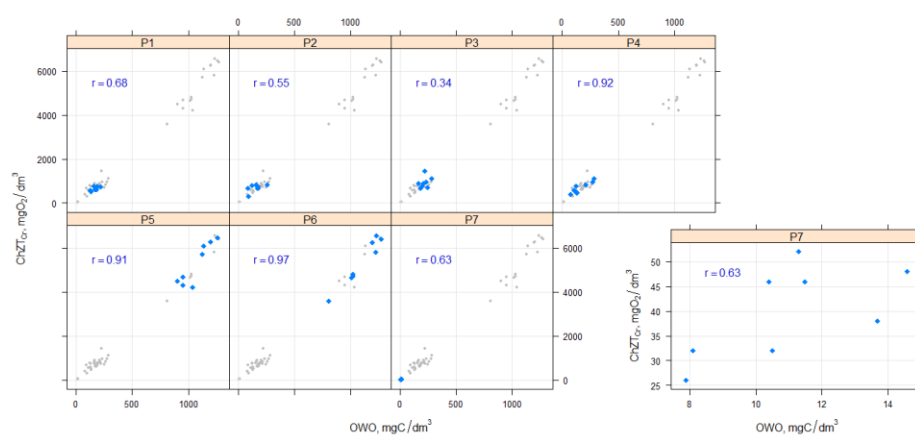




Rys. 5. Zależność między ChZTCr i BZT<sub>5</sub> ścieków w ciągu technologicznym oczyszczalni [oprac. aut.]

Fig. 5. Relationship between COD and BOD in the wastewater during treatment technology [aut. develop.]

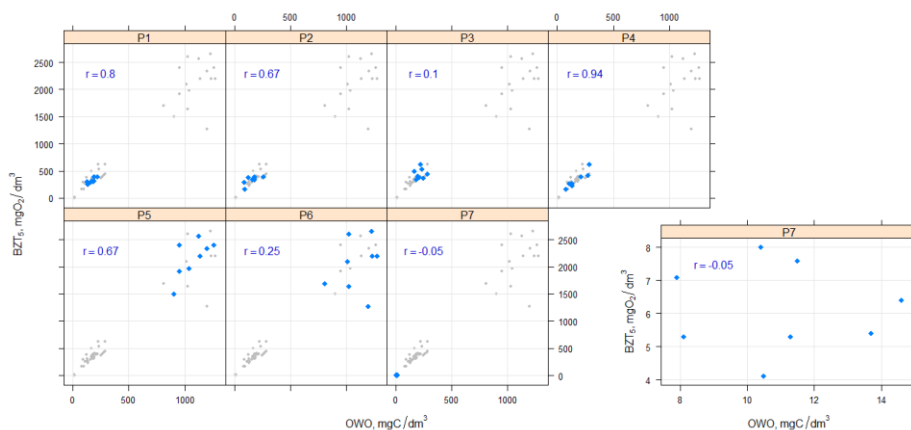
Istotne korelacje między wskaźnikami ChZTCr i OWO stwierdzono w ściekach w punktach P4-P6. Wartości współczynników korelacji dla ścieków surowych i oczyszczonych były zbliżone, co może wynikać z faktu, że oba wskaźniki obejmują zanieczyszczenia niebiodegradowalne (rys. 6).



Rys. 6. Zależność między ChZTCr i OWO ścieków w ciągu technologicznym oczyszczalni [oprac. aut.]

Fig. 6. Relationship between COD and TOC in the wastewater during treatment technology [aut. develop.]

Istotną zależność pomiędzy  $BZT_5$  i OWO stwierdzono w ściekach surowych oraz w ściekach po piaskowniku (P1 i P4). W pozostałych punktach pomiarowych zależności te były słabsze. Podobnie jak niska wartość współczynnika korelacji  $ChZT_{Cr}$  do  $BZT_5$ , tak również niska wartość współczynnika korelacji  $BZT_5$  do OWO świadczy o tym, że ścieki oczyszczone zawierają głównie związki trudno rozkładalne (rys. 7).



Rys.7. Zależność między  $BZT_5$  i OWO ścieków w ciągu technologicznym oczyszczalni [oprac. aut.]

Fig.7. Relationship between BOD and TOC in the wastewater during treatment technology [aut. develop.]

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- ścieki surowe dopływające do oczyszczalni „Łącza” charakteryzowały się zbliżonym składem, o czym świadczy niska wartość współczynnika zmienności V wynosząca dla wskaźników  $ChZT_{Cr}$ ,  $BZT_5$  i OWO odpowiednio: 14,7; 15,3 i 17,6%,
- w kolejnych procesach mechanicznego oczyszczania stwierdzono większą niejednorodność wskaźników zanieczyszczeń potwierdzoną wysokimi wartościami współczynnika zmienności V,
- w ściekach w reaktorach biologicznych, stwierdzono prawidłowy wzrost wartości wskaźników zanieczyszczeń organicznych i zawiesiny ogólnej, a analiza zmienności wykazała mniejsze zróżnicowane stężenia zanieczyszczeń organicznych w porównaniu do ścieków w części mechanicznej oczyszczalni,

- wartości zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych były zgodne z wymaganiami stawianymi ściekom odprowadzanym do odbiorników, jednak wyznaczone wartości współczynnika zmienności  $V$  dla wskaźników ChZTCr, BZT5, OWO i zawiesiny ogólnej wskazują na niejednorodność wyników,
- wartości współczynników korelacji między wskaźnikami ChZTCr i BZT5 oraz BZT5 i OWO wyznaczone dla ścieków po kolejnych etapach mechaniczno-biologicznego oczyszczania potwierdzają skuteczne usuwanie zanieczyszczeń organicznych, a w ściekach oczyszczonych świadczą o obecności głównie związków trudno rozkładalnych.

#### LITERATURA

1. DYMACZEWSKI Z., OLESZKIEWICZ J.A., SOZAŃSKI M.M.; 1997. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Wydawnictwo PZITS, Poznań
2. HEIDRICH Z., KALENIK M., PODEDWORNA J., STAŃKO G.; 2008. Sanitacja wsi. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa.
3. HERMANOWICZ W., DOŻAŃSKA W., DOJLIDO J., KOZIOROWSKI B.; 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
4. KLIMIUK E., ŁEBKOWSKA M.; 2008. Biotechnologia w ochronie środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
5. KORONACKI J., MIELNICZUK J.; 2001. Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
6. ŁOMOTOWSKI J., SZPINDOR A.; 1999. Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków. Arkady, Warszawa.
7. MAKAC W., URBANEK-KRZYSZTOFIAK D.; 1995. Metody opisu statystycznego. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
8. OSTASIEWICZ S., RUSNAK Z., SIEDLECKA U.; 1995. Statystyka: elementy teorii i zadania. Wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006r. W sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, (Dz. U. 06. 137. 984)
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, (Dz. U. 09. 27. 169)

## **STATISTICAL ANALYSIS OF WASTEWATER COMPOSITION CHANGES IN MECHANICAL-BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANT**

### *S u m m a r y*

*The paper presents the results of the statistical analysis of variability of the composition of the wastewater in the subsequent processes of treatment. Distribution of pollutant concentrations and the core values of descriptive statistics are presented in the form of graphs boxed. Also performed evaluation of the relationship between indicators COD, BOD<sub>5</sub> and TOC in wastewater samples after subsequent treatment processes.*

Key words: wastewater composition changes, COD, BOD, TOC, suspended solids, statistics measure, box-graph, the correlation