

## PCA JAKO NARZĘDZIE EKSPLOKACJI DANYCH CHARAKTERYZUJĄCYCH PRACĘ KOMÓR NITRYFIKACJI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W TREPCZY

Ewa Wąsik, Krzysztof Chmielowski, Agnieszka Operacz  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** W badaniach wykorzystano metodę analizy składowych głównych PCA w celu uzyskania istotnie skorelowanych wyników pomiarów online, obrazujących pracę dwóch komór nitrifikacji oczyszczalni ścieków w Trepczy w okresie od kwietnia 2014 r. do kwietnia 2016 r. Wyodrębniono trzy składowe główne, które w zakresie od 74,3 do 82,6% wyjaśniały zmienność danych oryginalnych. Stwierdzono, że pierwsza główna składowa, która w największym stopniu była związana ze zmiennością stężenia tlenu oraz azotu amonowego w komorach nitrifikacji, wyjaśniała od 38,8 do 45,0% zmienności zawartych w zmiennych pierwotnych. Podczas całego okresu badawczego zauważono w komorze nitrifikacji I słaby wpływ temperatury ścieków na stężenie azotu amonowego oraz brak korelacji pomiędzy stężeniem tlenu w ściekach a stężeniem azotu amonowego. W całym okresie badawczym, z wyjątkiem zimy 2014/2015, w komorze nitrifikacji II widoczna była bardzo silna korelacja pomiędzy stężeniem tlenu w ściekach a stężeniem azotu amonowego. Odnotowano również silną ujemną korelację wpływu temperatury ścieków na redukcję  $N-NH_4^+$ .

**Słowa kluczowe:** analiza składowych głównych, PCA, oczyszczalnia ścieków, ścieki.

### WSTĘP

Sanockie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko w latach 2011–2013 zrealizowało projekt nr POIS.01.01.00-00.020/09 „Poprawa gospodarki wodno-ściekowej w aglomeracji Sanok” [Wieloletni plan... 2008, AKPOŚK 2010]. Nadrzędnym celem tego przedsięwzięcia było dostosowanie do wymagań podwyższonego usuwania biogenów wszyst-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Ewa Wąsik, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: [e.wasik@urk.edu.pl](mailto:e.wasik@urk.edu.pl).

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

kich oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w aglomeracjach powyżej 10 000 RLM [Dyrektywa... 1991]. Przeszła technologia funkcjonujących obiektów nie zapewniała bowiem eliminacji substancji biogenych na poziomie określonym przez prawo polskie i unijne [Wąsik i Chmielowski 2012]. Rezultatem tych inwestycji była głównie modernizacja istniejących obiektów.

Istotną rolę w oczyszczalni ścieków odgrywa system regularnie prowadzonych lub ciągłych pomiarów, obejmujących nie tylko ilość, lecz także jakość oczyszczanych ścieków. Podwyższenie niezawodności technicznej oczyszczalni poprzez pomiary online wpływa na szybsze wykrycie nieprawidłowej pracy lub awarii urządzeń i czujników pomiarowych, a tym samym na końcową efektywność oczyszczania ścieków [Bartoszewski i in. 1997].

Ze względu na wyposażenie większości obiektów analizowanej oczyszczalni w urządzenia pomiarowe w komorach osadu czynnego istnieje możliwość monitorowania online m.in. temperatury ścieków, pH, potencjału redox, stężenia tlenu rozpuszczonego, zawartości suchej masy (s.m.) oraz stężenia biogenów (mierzonych jako  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$  oraz  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Kontrola technologiczna, polegająca na prowadzeniu codziennych obserwacji parametrów fizyko-chemicznych, powinna być dodatkowo wzbogacona o ich analizę statystyczną. Jednak zbyt duża liczba zmiennych poddawanych obróbce może utrudniać dostrzeżenie istotnych zależności między analizowanymi zmiennymi.

Do określenia związku pomiędzy wieloma zmiennymi pierwotnymi (wejściowymi) oraz do identyfikacji czynników dla nich wspólnych można zastosować analizę składowych głównych PCA (Principal Component Analysis). Jest to narzędzie eksploracji danych często przydatne nie tylko w badaniach naukowych [Kolasa-Więcek 2012, Bedla i Król 2014], lecz również w ocenie procesu oczyszczania ścieków [Mazur i in. 2006, Moon i in. 2009, Xiao i in. 2016].

Poprzez zredukowanie liczby zmiennych pierwotnych i zastąpienie ich składowymi, które znacząco wyjaśniają ich zmienność, analiza PCA pozwala opisać zachodzące procesy i zjawiska z zachowaniem maksymalnej ilości informacji. Wyodrębnienie tzw. składowych głównych jest możliwe w przypadku, gdy pomiędzy pierwotnymi zmiennymi zachodzą pewne korelacje [Morrison 1990, Krzanowski 2000, Jolliffe 2002, StatSoft 2006]. Przy założeniu, że kilka pierwszych składowych zawiera w sobie znaczną ilość zmienności oryginalnego zbioru danych, mogą one wspólnie wyjaśnić prawie całą zmienność danych, a przez to uprościć interpretację wyników.

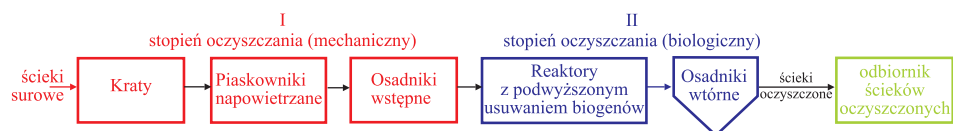
W pracy dokonano oceny możliwości wykorzystania analizy PCA w celu uzyskania istotnie skorelowanych wyników pomiarów online, obrazujących pracę komór nityfikacji w oczyszczalni ścieków w Trepczy po jej modernizacji w 2013 roku.

## OPIS OBIEKTU BADAŃ

Zlokalizowana w miejscowości Trepcza mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków, o średniodobowej przepustowości  $15\,000\text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , obsługuje aglomerację Sanok (około 76 000 RLM). Oczyszczone ścieki są odprowadzane do rzeki San w km 275+400.

Oczyszczalnia została oddana do użytku w 1993 r. Jej technologia opierała się na wykorzystaniu metody osadu czynnego ze zintegrowanym usuwaniem związków węgla, azotu i fosforu. Do napowietrzania komór zastosowano system napowietrzania drobno-pęcherzykowego [Wąsik i Chmielowski 2012].

Modernizacja oczyszczalni ścieków w Trepczy, której uproszczony schemat technologiczny przedstawiono na rycinie 1, zakończyła się na początku 2013 r. Część istniejących obiektów została przebudowana i zmieniła przeznaczenie (powstały m. in. komory predenitryfikacji, komory biologicznej defosfatacji oraz komory denitryfikacji). Część ściekową oczyszczalni powiększono m.in. o komory nityfikacji, dodatkowy osadnik wtórny i zbiornik retencyjny. W komorach nityfikacji zmieniono metodę napowietrzania na system obrotowych szczotek [SPGK Sanok 2013].



Ryc. 1. Uproszczony schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Trepczy po modernizacji  
Fig. 1. The simplified technological scheme of the sewage treatment plant in Trepcza after modernization

Proces oczyszczania ścieków jest obecnie monitorowany oraz automatycznie sterowany dzięki wyposażeniu obiektów w aparaturę kontrolno-pomiarową [Wieloletni plan... 2008]. Zamontowane w komorach osadu czynnego czujniki pomiarowe pozwalają na odczyt wskazań online wielu parametrów m.in.: temperatury, pH, potencjału redox, stężenia tlenu rozpuszczonego, zawartości suchej masy (s.m.), a także stężenia biogenów (jako  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$  oraz  $\text{PO}_4^{3-}$ ). W przypadku komór nityfikacji analizę zawartości jonów amonowych wykonuje się przy użyciu kolorymetrycznego analizatora Liquiline System CA80AM, natomiast do pomiaru azotu azotanowego służy czujnik SAC Viomax CAS51D.

## METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono na zbiorze danych uzyskanych w okresie od kwietnia 2014 r. do kwietnia 2016 r. Dane pierwotne pochodziły z bazy danych komputera centralnego oczyszczalni ścieków. Rejestracja danych pomiarowych następowała w sposób ciągły w godzinowych odstępach czasu.

Analizie poddano następujące parametry fizyko-chemiczne: temperaturę, pH, stężenie tlenu rozpuszczonego, stężenie  $\text{N-NH}_4^+$ , stężenie  $\text{N-NO}_3^-$  oraz zawartość suchej masy (s.m.).

Do podstawowej analizy statystycznej wytypowano dwa główne parametry, charakteryzujące pracę komór nityfikacji (I i II) tzn. stężenie tlenu rozpuszczonego oraz stężenie azotu amonowego. Określono dla nich podstawowe statystyki opisowe tj. średnią arytmetyczną, medianę, minimum, maksimum, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności. Dodatkowo w obydwu komorach określono liczbę przypadków, kiedy wska-

zania czujnika mierzącego stężenie tlenu rozpuszczonego (w  $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ) wskazywały wartość bliską zeru.

W celu uzyskania pełniejszego obrazu warunków panujących w obydwu komorach nitrifikacji lata 2014–2016 podzielono na zimę (X–III) i lato (IV–IX). Otrzymano zatem cztery okresy badawcze: zima 2014/2015, lato 2015, zima 2015/2016, lato 2016. Posłużono się również dodatkowymi zmiennymi tj. pH, temperaturą, zawartością suchej masy oraz stężeniem azotu azotanowego.

Ze względu na trudność dostrzeżenia istotnego związku między danymi pierwotnymi postanowiono dokonać redukcji ich zbioru. Zastosowano w tym celu analizę składowych głównych PCA, która poprzez minimalizację liczby zmiennych pierwotnych pozwoliła opisać procesy zachodzące w obydwu komorach nitrifikacji z zachowaniem maksymalnej ilości informacji. Do określenia liczby głównych składowych wykorzystano zaproponowany przez Cattella [1966] test osypiska. Zgodnie z zasugerowanym kryterium pozostawiono trzy czynniki główne o najwyższych ładunkach czynnikowych względem danych składowych.

Ostatnim krokiem była graficzna prezentacja zbioru danych, gdzie każdą zmienną reprezentował wektor, a jego kierunek i długość określały stopień, w jakim poszczególne zmienne wpływały na składowe główne. W przypadku położenia analizowanych zmiennych w pobliżu obwodu okręgu, większą część informacji w nich zawartych przenoszą główne składowe. Silna dodatnia korelacja występuje, gdy zmienne są usytuowane obok siebie, natomiast wektory zmiennych położone prostopadle wobec siebie świadczą o jej braku. Ułożenie zmiennych po przeciwnych stronach względem siebie oznacza, że są one ujemnie skorelowane [Gramacki i Gramacki 2008]. Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica 8.0.

## WYNIKI BADAŃ

Statystyczną analizę danych źródłowych dla zimy i lata w okresie badań od 04.2014 r. do 04.2016 r. przedstawiono w tabeli 1.

Porównując parametry pracy obydwu obiektów, można stwierdzić, że komora nitrifikacji I charakteryzowała się najwyższym współczynnikiem zmienności stężenia tlenu oraz najniższą średnią wartością stężenia tlenu w lecie 2015 r. Również w tym okresie zaobserwowano najwyższą wartość współczynnika zmienności oraz najniższą średnią wartość azotu amonowego. Mogłoby to sugerować, że w tym czasie w komorze I często miały miejsce wskazania tlenu bliskie wartości zerowej. Nie potwierdza tego jednak liczba takich przypadków, których najwięcej zanotowano zimą 2015/2016. W omawianym okresie do oczyszczalni dopływały ścieki o dwukrotnie wyższym współczynniku nierównomierności stężenia azotu amonowego oraz jego wartości o ok. 40% wyższej niż w pozostałych trzech okresach badawczych.

Analizując działanie komory nitrifikacji II, zauważono, że najwyższe współczynniki zmienności tlenu oraz azotu amonowego wystąpiły zimą 2014/2015. Najniższe średnie stężenie tlenu w ściekach wystąpiło latem 2015r., natomiast najniższa średnia wartość azotu amonowego zimą 2014/2015. W komorze II najczęściej występowały wskazania wartości tlenu bliskie zeru zimą 2014/2015.

Tabela 1. Charakterystyki statystyczne wybranych parametrów w komorach nityfikacji I i II w oczyszczalni ścieków w Trepczy w okresie 04.2014 – 04.2016

Table 1. Statistical characteristics of selected parameters in the nitrification reactors I and II in the sewage treatment plant in Trepcza period 04.2014 – 04.2016

Parametr – Parameter	Statystyka opisowa (n = 36)	Zima – Winter 2014/2015 (n = 4343)	Lato – Summer 2015 (n = 4392)	Zima – Winter 2015/2016 (n = 4355)	Lato – Summer 2016 – kwiecień (n = 350)
Tlen w komorze I Oxygen in reactor I mg O <sub>2</sub> · dm <sup>-3</sup>	Średnia – Average	2,19	<b>1,63</b>	3,28	1,22
	Mediana – Median	1,83	1,42	3,28	1,44
	Minimum – Min	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maksimum – Max	7,64	6,54	9,99	9,91
	Współczynnik zmienności Variation coefficient	74,8	<b>78,1</b>	64,6	82,5
	Wystąpienie wartości The occurrence of ~ 0	68	52	<b>216</b>	64
Tlen w komorze II Oxygen in reactor II mg O <sub>2</sub> · dm <sup>-3</sup>	Średnia – Average	2,51	<b>2,29</b>	4,75	4,03
	Mediana – Median	1,95	2,21	5,47	4,70
	Minimum – Min	0,00	0,00	0,00	0,01
	Maksimum – Max	7,35	6,85	9,99	6,51
	Współczynnik zmienności Variation coefficient	<b>78,3</b>	64,8	42,7	44,0
	Wystąpienie wartości The occurrence of ~ 0	<b>95</b>	26	5	1
Azot amonowy w komorze I Amonium nitrogen in reactor I mg · dm <sup>-3</sup>	Średnia – Average	3,88	<b>2,37</b>	3,59	4,27
	Mediana – Median	3,85	1,74	3,70	4,22
	Minimum – Min	0,00	0,00	0,03	1,07
	Maksimum – Max	13,43	14,97	10,47	7,84
	Współczynnik zmienności Variation coefficient	59,0	<b>91,9</b>	57,1	27,0
Azot amonowy w komorze II Amonium nitrogen in reactor I mg · dm <sup>-3</sup>	Średnia – Average	<b>3,78</b>	4,62	5,58	5,12
	Mediana – Median	3,56	4,59	5,57	4,83
	Minimum – Min	0,00	0,01	0,00	0,84
	Maksimum – Max	12,00	14,97	14,96	11,36
	Współczynnik zmienności Variation coefficient	<b>75,7</b>	59,7	46,0	39,0

n – liczebność próby statystycznej – statistical sample size

Jak wynika z analizy podstawowych charakterystyk, nie obrazują one w dostatecznym stopniu pracy komór nityfikacji oczyszczalni ścieków w Trepczy w latach 2014–2016. W celu uzyskania pełniejszej interpretacji danych pomiarowych, za pomocą analizy PCA, zredukowano sześciowymiarowy zbiór danych do trzech składowych głównych, najpełniej odzwierciedlających zmienności w zbiorze danych.

Dokonując interpretacji wyników analizy czynnikowej metodą składowych głównych wykazano, że w komorze II pierwsza składowa była najwyższej skorelowana z trzema zmiennymi – stężeniem tlenu rozpuszczonego, stężeniem azotu amonowego i stężeniem azotu azotanowego. Pozostałe dwie składowe charakteryzowały się silnym związkiem ze zmiennymi pH, temperaturą oraz zawartością suchej masy. W komorze I nie można było jednoznacznie określić składowych głównych. Zaobserwowano jednak, że na dwie pierwsze składowe największy wpływ miało zmienne stężenie tlenu rozpuszczonego oraz stężenie azotu amonowego.

Zależności pomiędzy zmiennymi pierwotnymi i uzyskanymi składowymi głównymi przedstawiono graficznie na rycinach 2–5.

W przypadku komory nityfikacji I otrzymano następujące rezultaty analizy PCA:

- w okresie zimy 2014/2015 pierwsza składowa wyjaśniała 43,6% całkowitej zmienności, druga składowa 19,7%, trzecia składowa 14,1%, co łącznie stanowiło 77,4% całkowitej zmienności (ryc. 2a);
- w okresie lata 2015 r. pierwsza składowa przenosiła 45,5% całkowitej zmienności, druga składowa 17,9%, trzecia składowa 12,5%, co łącznie dało 75,9% całkowitej zmienności (ryc. 3a);
- w okresie zimy 2015/2016 pierwsza składowa opisywała 38,8% całkowitej zmienności, druga 20,2%, trzecia 15,3%, czyli łącznie 74,3% całkowitej zmienności (ryc. 4a);
- w okresie kwietnia 2016 r. pierwsza składowa przenosiła 31,4% całkowitej zmienności, druga składowa 23,7%, trzecia składowa 21,1%, co łącznie stanowiło 76,2% całkowitej zmienności (ryc. 5a).

W przypadku analizy komory nityfikacji II stwierdzono, co następuje:

- w okresie zimy 2014/2015 pierwsza składowa wyjaśniała 43,9% całkowitej zmienności, druga składowa 22,0%, trzecia składowa 14,3%, co łącznie dało 80,2% całkowitej zmienności (ryc. 2b);
- w okresie lata 2015 r. pierwsza składowa opisywała 42,6% całkowitej zmienności, druga składowa 20,7%, trzecia składowa 14,4%, co łącznie stanowiło 77,7% całkowitej zmienności (ryc. 3b);
- w okresie zimy 2015/2016 pierwsza składowa wyjaśniała 45,0% całkowitej zmienności, druga składowa 18,7%, trzecia składowa 13,9%, czyli łącznie opisywała 77,6% całkowitej zmienności (ryc. 4b);
- w okresie kwietnia 2016 r. pierwsza składowa przenosiła 40,4% całkowitej zmienności, druga składowa 18,4%, trzecia 23,8%, co łącznie dało 82,6% całkowitej zmienności (ryc. 5b).

Analizując okres zimowy 2014/2015, w komorze nityfikacji I (ryc. 2a) zaobserwowano brak jakiegokolwiek korelacji między azotem amonowym a temperaturą (ich wektory tworzą kąt prosty). W komorze II (ryc. 2b) widoczna jest słaba korelacja pomiędzy  $N-NH_4^+$  oraz temperaturą. Zarówno w komorze I, jak i w komorze II wektory ładun-

ków  $\text{N-NH}_4^+$  i tlenu są w niskim stopniu skorelowane. Oznacza to, że komory nityfikacji pracowały w podobny sposób. Potwierdzają to średnie wartości tlenu oraz azotu amonowego zmierzone w obydwu obiektach. Wynosiły one dla komory I odpowiednio 2,19 i 3,88  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a dla komory II 2,51 i 3,78  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

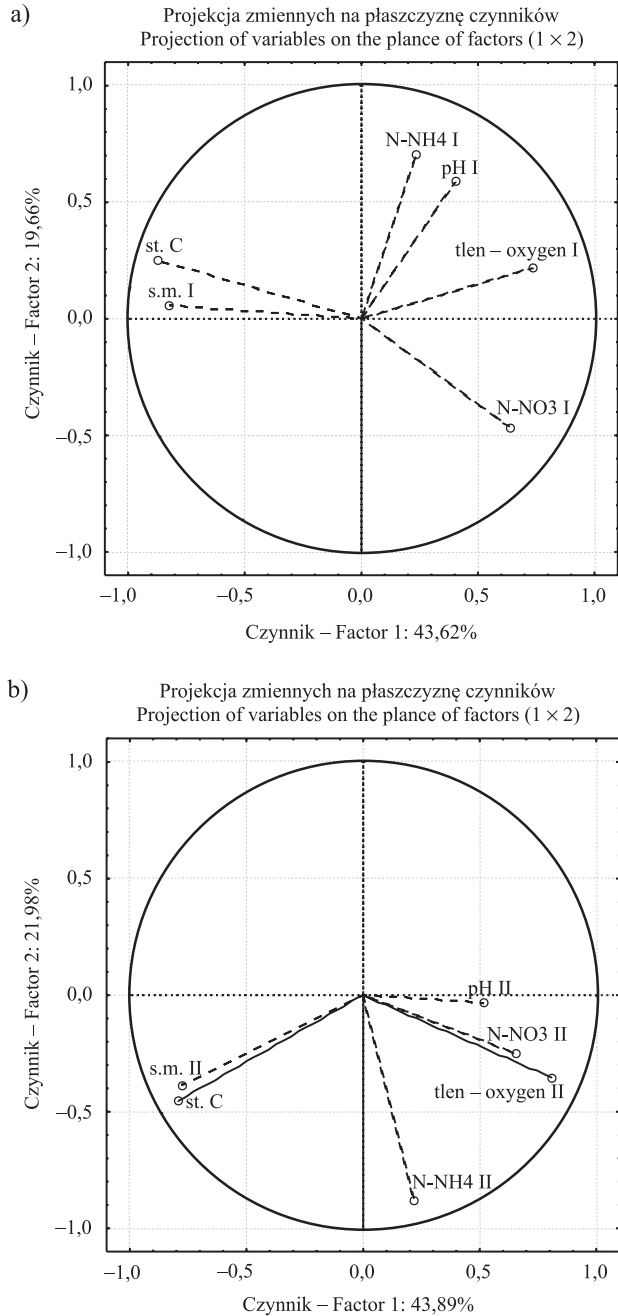
Latem 2015 r. zarówno w komorze I, jak i w komorze II, zaobserwowano mały stopień korelacji temperatury i azotu amonowego. Komora I (ryc. 3a) ponownie charakteryzowała się brakiem korelacji azotu amonowego i tlenu (ich wektory są prawie prostopadle usytuowane wobec siebie). W przeciwieństwie do komory I w komorze II (ryc. 3b) stwierdzono bardzo silną dodatnią korelację tlenu i  $\text{N-NH}_4^+$  (zaznaczoną elipsą). Różnice w wykresach zmiennych wynikają z różnych warunków panujących w tym czasie w obydwu komorach. Średnie wartości tlenu oraz azotu amonowego zmierzone w I komorze wynosiły odpowiednio 1,63 i 2,37  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Dla komory II osiągnęły natomiast 2,29 i 4,62  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Współczynnik zmienności w przypadku azotu amonowego okazał się o 54% większy w komorze I niż w komorze II.

W zimie 2015/2016 (ryc. 4a) po raz kolejny w komorze I stwierdzono całkowity brak korelacji pomiędzy wartością  $\text{N-NH}_4^+$  a stężeniem tlenu (ich wektory tworzą kąt prosty). Widoczny jest słaby wpływ temperatury na stężenie azotu amonowego w tej komorze. W komorze II (ryc. 4b) podobnie jak latem 2015 r. widoczna jest bardzo silna korelacja pomiędzy stężeniem tlenu i azotu amonowego (zaznaczona elipsą). Wpływ temperatury na redukcję  $\text{N-NH}_4^+$  w tej połowie roku potwierdza ich ujemna korelacja. Średnie wartości tlenu oraz azotu amonowego mierzone w I komorze wynosiły odpowiednio 3,28 i 3,59  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Dla komory II osiągnęły natomiast 4,75 i 5,58  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Obserwowane w tym czasie wyższe średnie wartości w/w zmiennych wynikały prawdopodobnie z wyższej o około 40% zawartości azotu amonowego w ściekach surowych w porównaniu z pozostałym okresem badań. Zanotowany dwukrotnie wyższy współczynnik zmienności azotu amonowego w ściekach surowych nie wpłynął jednak na wzrost współczynnika zmienności tego parametru mierzonego w obydwu komorach.

W ostatnim okresie badawczym, czyli w kwietniu 2016 r., w komorze I (ryc. 5a) widoczna była mała korelacja pomiędzy stężeniem tlenu i azotu amonowego (wektory tych zmiennych są prawie prostopadle). W komorze II (ryc. 5b) zaobserwowano wysoce dodatnio skorelowane trzy parametry tzn. stężenie tlenu, stężenie  $\text{N-NH}_4^+$  oraz pH (zaznaczone elipsą). Ujemna korelacja  $\text{N-NH}_4^+$  i temperatury potwierdza wpływ temperatury na obniżenie stężenia azotu amonowego w kwietniu 2016 r.

Podczas całego okresu badawczego od kwietnia 2014 do kwietnia 2016 r. w komorze I zaobserwowano brak korelacji pomiędzy stężeniem tlenu a stężeniem azotu amonowego. Fakt ten mógł być spowodowany niedostatecznym stopniem natlenienia ścieków w tej komorze. Dokonujące pomiarów w tym czasie, a szczególnie zimą 2015/2016, czujniki tlenu odnotowywały powtarzające się w porannych godzinach wartości tlenu bliskie zeru.

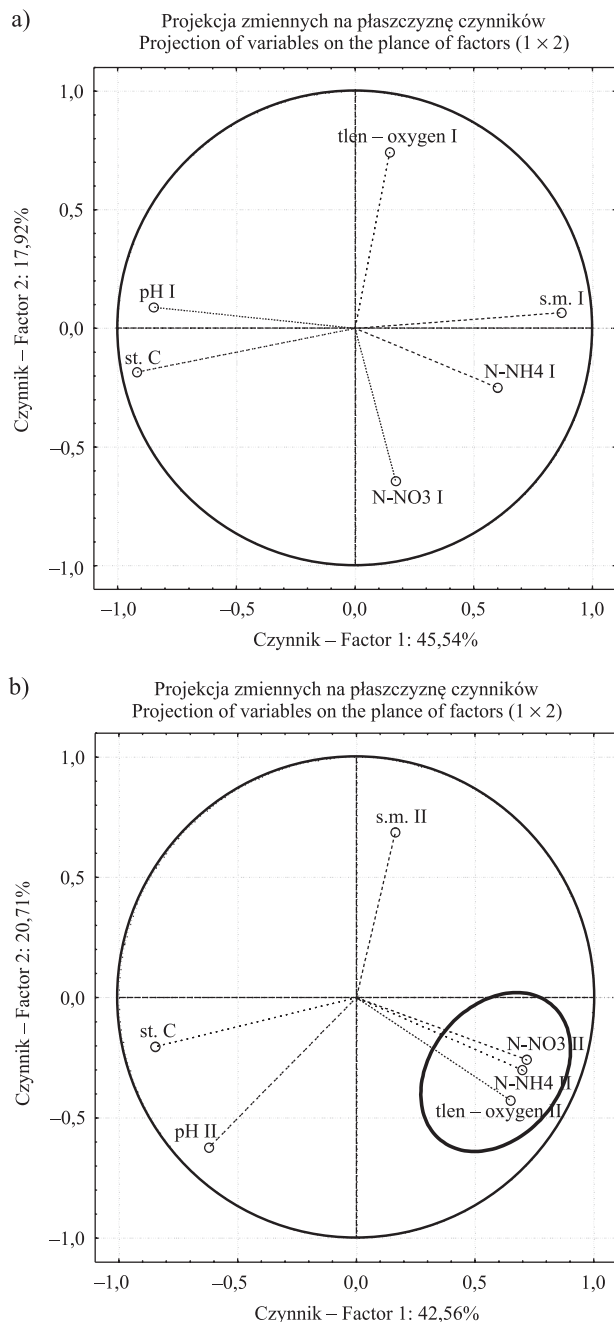




Ryc. 2. Zmienne w komorze I (a) oraz w komorze II (b) w zimie 2014/2015. Położenie wektorów ładunków względem składowych głównych (czynniki 1 i 2)

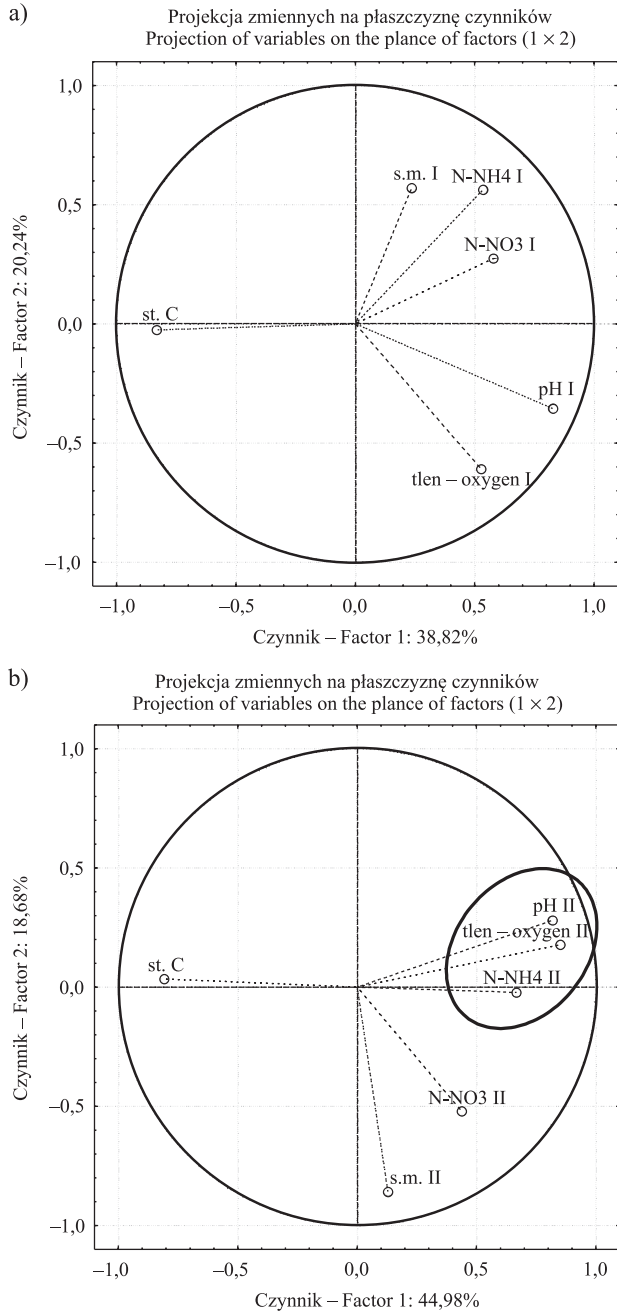
Fig. 2. The variables in the reactor I (a) and reactor II (b) in the winter 2014/2015. Plot of variables. Location of load vectors towards two principal components (1 and 2 factors)





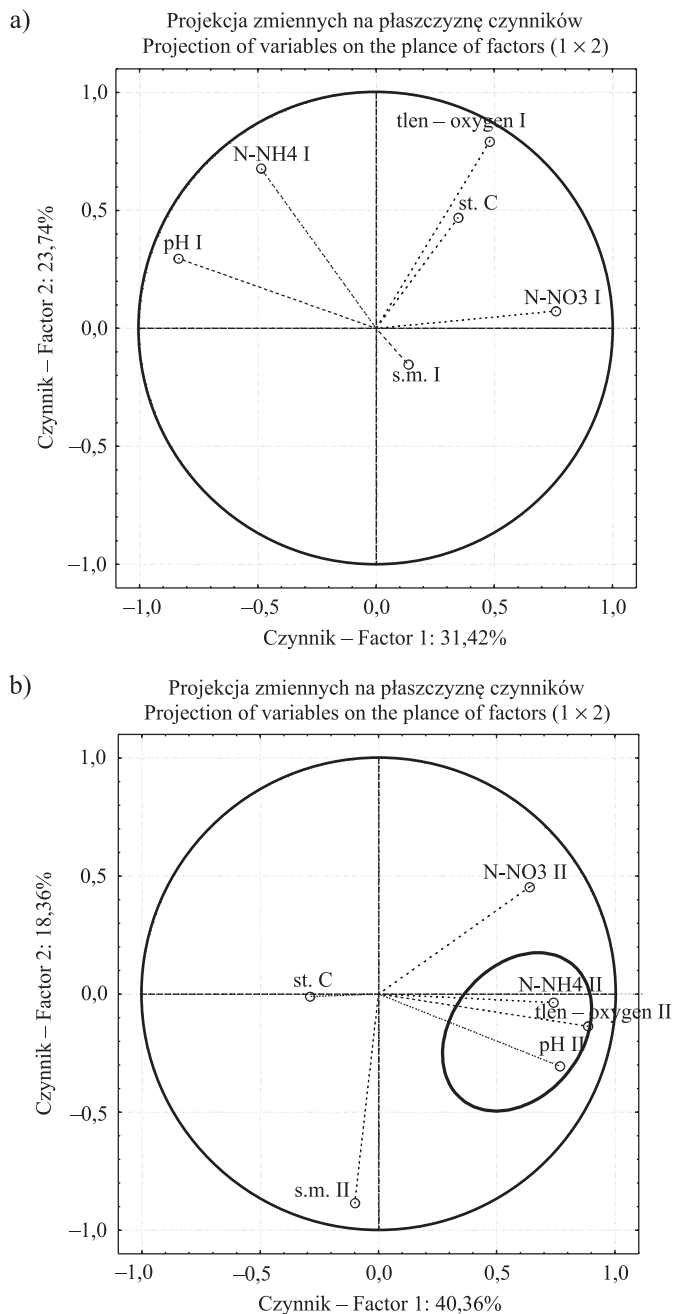
Ryc. 3. Zmienne w komorze I (a) oraz w komorze II (b) w lecie 2015 r. Położenie wektorów ładunków względem składowych głównych (czynniki 1 i 2)

Fig. 3. The variables in the reactor I (a) and reactor II (b) in the summer 2015. Plot of variables. Location of load vectors towards two principal components (1 and 2 factors)



Ryc. 4. Zmienne w komorze I (a) oraz w komorze II (b) w zimie 2015/2016. Położenie wektorów ładunków względem składowych głównych (czynniki 1 i 2)

Fig. 4. The variables in the reactor I (a) and reactor II (b) in the winter 2015/2016. Plot of variables. Location of load vectors towards two principal components (1 and 2 factors)



Ryc. 5. Wykres zmiennych w komorze I (a) oraz w komorze II (b) w kwietniu 2016 r. Położenie wektorów ładunków względem składowych głównych (czynniki 1 i 2)

Fig. 5. The variables in the reactor I (a) and reactor II (b) in the summer 2016. Plot of variables. Location of load vectors towards two principal components (1 and 2 factors)

## WNIOSKI

Urządzenia pomiarowe online, mierzące parametry procesów zachodzących w oczyszczalni ścieków oraz rejestracja danych pochodzących z tych pomiarów dają możliwość analizy poprawności działania obiektu. Jednak ze względu na dużą liczbę danych pierwotnych interpretacja wyników może okazać się utrudniona. Do zminimalizowania liczby zmiennych potrzebnych do wyjaśnienia danej zmiennej może posłużyć analiza składowych głównych PCA.

W artykule wykazano, że metoda PCA dała sposobność zastąpienia wejściowego zbioru skorelowanych parametrów (t.j. temperatury, pH, stężenia tlenu rozpuszczonego, stężenia  $\text{N-NH}_4^+$ , stężenia  $\text{N-NO}_3^-$  oraz zawartości suchej masy) poprzez trzy nieskorelowane składowe główne czynników, stanowiących liniowe kombinacje zmiennych. Wyodrębnione trzy składowe główne poprzez 74,3 do 82,6% przypadków wyjaśniały zmienność danych oryginalnych. Stwierdzono, że pierwsza główna składowa w największym stopniu związana ze zmiennością stężenia tlenu oraz azotu amonowego w komorach nityfikacji, wyjaśniała od 38,8 do 45,0% zmienności zawartych w zmiennych pierwotnych.

Podczas całego okresu badawczego, z wyjątkiem zimy 2014/2015, w komorze nityfikacji II widoczna była bardzo silna korelacja pomiędzy stężeniem tlenu a stężeniem azotu amonowego. Odnotowano również wpływ temperatury na redukcję stężenia  $\text{N-NH}_4^+$  poprzez ich silną korelację ujemną, czego nie zauważono w komorze I.

W trakcie okresu badawczego od kwietnia 2014 r. do kwietnia 2016 r. w komorze I zaobserwowano brak korelacji pomiędzy stężeniem tlenu a stężeniem azotu amonowego. Fakt ten mógł być spowodowany niedostatecznym stopniem natlenienia ścieków w tej komorze. Dokonujące pomiarów w tym czasie, a szczególnie zimą 2015/2016, czujniki tlenu odnotowywały powtarzające się w porannych godzinach wartości tlenu bliskie zeru. Należy pamiętać, że dla wartości tlenu poniżej  $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  obserwuje się wyraźne spowolnienie procesu nityfikacji [Bartoszewski i in. 1997], dlatego ważnym dla eksploatatora oczyszczalni jest monitoring pracy urządzeń do natleniania ścieków oraz kontrola poprawności pomiarów sondami online.

Analiza składowych głównych PCA okazała się przydatnym narzędziem uzupełniającym podejście deterministyczne w ocenie działania oczyszczalni ścieków w Trepczy, której modernizacja pozwoliła na dostosowanie obiektu do wymagań prawa polskiego i UE w zakresie podwyższonego usuwania substancji biogenych.

## PIŚMIENNICTWO

- AKPOŚK (2010). Trzecia Aktualizacja KPOŚK zatwierdzona przez Radę Ministrów w dniu 1 lutego 2011 r., <http://www.kzgw.gov.pl/pl/Krajowy-program-oczyszczania-ściekow-komunalnych.html> [dostęp: 01.04.2016].
- Bartoszewski, K., Bicz, W., Dymaczewski, Z., Jaroszyński, T., Kujawa, K., Lemański, J., Łomotowski, J., Nalberczyński, A., Niedzielski, W., Oleszkiewicz, J., Sawicki, M., Sozański, M., Urbaniak, A., Wasilewski, M. (1997). Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań.
- Bedla, D., Król, K. (2014). Wpływ użytkowania zlewni na jakość wód stawu wiejskiego na przykładzie zbiornika Zelków. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 13(4), 25–33.

- Catell, R.B. (1996). The Scree Test For The Number Of Factors. *Multivariate Behavioral Res.*, 1(2), 245–276.
- Dyrektywa 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych. Dz. Urz. WE L 135 z 30.05.1991, str. 40, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 2, str. 26.
- Gramacki, J., Gramacki, A. (2008). Statystyczne odkrywanie zależności w danych. *Przełg. Telekom.*, 81(6), 711–713.
- Jolliffe, I.T. (2002). *Principal Component Analysis*. Springer Verlag, New York.
- Kolasa-Wiecek, A. (2012). Analiza składowych głównych w ocenie zależności sposobu użytkowania gruntów z emisją gazów cieplarnianych z rolnictwa. *Inżyn. Roln.*, 2(137), 105–112.
- Krzanowski, W.J. (2000). *Principles of Multivariate Analysis: A User's Perspective*. Oxford University Press, New York.
- Mazur, K., Borowa, A., Brdyś, M.A. (2006). Condition monitoring using PCA based method and application to wastewater treatment plant operation. 1st IFAC Workshop on Applications of Large Scale Industrial Systems, IFAC Proceedings Volumes, 39(14), 208–213.
- Moon, T.S., Kim, Y.J., Kim, J.R., Cha, J.H., Kim, D.H., Kim, C.W. (2009). Identification of process operating state with operational map in municipal wastewater treatment plant. *J. Environm. Manag.*, 90(2), 772–778.
- Morrison, D.F. (1990). *Wielowymiarowa analiza statystyczna*. PWN, Warszawa.
- SPGK Sanok (2013), <http://jrp.spgk.com.pl/realizacja-projektu> [dostęp: 01.12.2016].
- StatSoft (2006). Internetowy podręcznik statystyki PL. Kraków <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html> [dostęp: 15.12.2016].
- Wąsik, E., Chmielowski, K. (2012). Ocena sprawności oczyszczania ścieków w oczyszczalni dla miasta i gminy Sanok w świetle zmian wybranych czynników klimatu. *Gaz Woda Tech. Sanit.*, 86(2), 103–105.
- Wieloletni plan inwestycyjny Sanockiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. na lata 2009–2012 pn.: „Poprawa gospodarki wodno-ściekowej w aglomeracji Sanok”. Załącznik do Uchwały Nr XXXV/271/08 Rady Miasta Sanoka z dnia 25 listopada 2008r., <http://bip.um.sanok.pl> [dostęp: 15.03.2016].
- Xiao, H., Liu, Y., Huang, D. (2016). Semiadaptive Fault Diagnosis via Variational Bayesian Mixture Factor Analysis with Application to Wastewater Treatment. *Hindawi Publishing Corporation. J. Control Sci. Engineer.*, ID 2034826, 1–12, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/2034826>.

## PCA AS A DATA MINING TOOLS CHARACTERIZING THE WORK OF NITRIFICATION REACTORS IN THE SEWAGE TREATMENT PLANT IN TREPCZA

**Abstract.** The study used the method of principal component analysis PCA in order to achieve significantly correlated measurements online, showing the work of two nitrification reactors at the wastewater treatment plant in Trepcza in the period from 04.2014–04.2016. Separated three main components that range 74.3%–82.6% explained variability in the original data. It was found that the first main component, which to the greatest extent was associated with fluctuations of the oxygen concentration and ammonia nitrogen in the nitrification reactors, explained from 38.8% to 45.0% of the variability contained in the original variables. During the entire study period noted for nitrification reactor I independent of the half year (winter/summer) weak influence of temperature on the concentration of ammonia nitrogen. From April 2014 to April 2016 in the reactor and observed no correlation between the oxygen concentration and the concentration of ammonia nitrogen. In most of the test

period – except in winter 2014/2015 year. In the reactor nitrification II was seen very strong correlation between oxygen and ammonia nitrogen. There has also been the effect of temperature on the reduction of  $\text{N-NH}_4^+$  by their strong negative correlation.

**Keywords:** principal component analysis, wastewater treatment plant

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.02.2017*

Do cytowań – For citation: Wąsik, E., Chmielowski, K., Operacz A. (2017). PCA jako narzędzie eksploracji danych charakteryzujących pracę komór nityfikacji oczyszczalni ścieków w Trepczy. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 16(1), 209–222.