

ZMIENNOŚĆ ODPLYWU ŚCIEKÓW OCZYSZCZONYCH

Izabela Bartkowska¹

¹ Katedra Systemów Inżynierii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: i.bartkowska@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

Prawidłowa praca elementów systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków w dużej mierze zależy od właściwego ich zaprojektowania. Istotne jest również prawidłowe wykonanie i eksploatacja. W projektowaniu najważniejszym parametrem jest miarodajna objętość ścieków. W artykule przedstawiono analizę ilości ścieków na przykładzie miejscowości Olecko. Analizie poddano wielkości odpływu ścieków w latach 2013–2014. Największe miesięczne ilości ścieków zaobserwowano w marcu a najmniejsze w grudniu. Średnia ilość powstających w ciągu doby ścieków wyniosła 2812,3 m³/d. Ilość ścieków zmieniała się od 498,0 m³/d do 6470,0 m³/d. W odniesieniu do liczby mieszkańców jednostkowy odpływ ścieków wyniósł średnio 162,6 l/d M. W artykule przedstawiono również wyniki analizy sezonowości odpływu ścieków, wyboru funkcji autoregresji czy dopasowanie modelu adaptacyjnego.

Słowa kluczowe: ilość ścieków, odpływ ścieków, zmienność odpływu ścieków.

VARIATION OF PURIFIED WASTEWATER EFFLUENT

ABSTRACT

Proper functioning of the elements of the system of discharge and purification of waste water depends to a large extent on their proper engineering. Correct manufacturing and operation of these elements is also essential. The most important parameter for designing is the wastewater volume. The article presents analysis of the sewage amount with the town of Olecko as an example. Analysed was the volumes of wastewater in between 201 and 2014. The largest monthly wastewater volume was recorded in March and the lowest in December. The average amount of generated sewage per 24 h was 2812.3 m³/full day. The amount of sewage varied between 498.0 m³/full day to 6470.0 m³/full day. The unit wastewater effluent in relation to the number of population was on the average 162.6 per 24h and inhabitant. The work presents also results of a season variability of sewage effluent, selection of the model of auto-regression or matching of an adaptation model.

Keywords: quantity of sewage, sewage effluent, variation of sewage effluent.

WPROWADZENIE

Ilość ścieków komunalnych wynika bezpośrednio z ilości wody zużywanej na różne cele w mieszkaniach, zakładach przemysłowych czy obiektach użyteczności publicznej. Podlega ona znacznym wahaniom zarówno w cyklu dobowym, tygodniowym, miesięcznym czy rocznym. Stwarza to problemy przy ustalaniu miarodajnej objętości ścieków niezbędnej do projektowania elementów systemu odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków oraz prognozowania ich wpływu na odbiornik. Wielu badaczy zwraca uwagę, że wraz z nową sytuacją społeczno-gospodarczą

w Polsce od 1989 r., obserwuje się spadek zużycia wody przez wszystkie grupy jej odbiorców co skutkuje zmniejszeniem ilości odpływających ścieków. Można zatem sądzić, że w dobie wszechobecnego deficytu zasobów wodnych, wprowadzenie gospodarki rynkowej przyczyniło się pozornie do oszczędności w tej dziedzinie. Tendencja spadkowa poboru wody i ilości odprowadzanych ścieków nie zawsze szła jednak w parze z modernizacją i przebudową systemów zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków. Projektowane wcześniej obiekty okazały się w znacznej mierze przewymiarowane. Z kolei przewymiarowanie przewodów prowadzi

do zmniejszenia prędkości przepływu. W następstwie tego dochodzi do powstawania większej ilości osadów, zwiększenie chropowatości przewodów równocześnie zmniejsza się zdolność przepustową sieci. Bardzo często prowadzi to do zwiększenia jednostkowej energochłonności.

Analiza tej sytuacji wskazuje na konieczność weryfikacji wcześniejszych prognoz dotyczących wielkości odpływu ścieków. U podstaw prawidłowego obliczania elementów systemu odprowadzania ścieków leży również określenie jego zmienności w czasie i przestrzeni. Określenie rzeczywistych parametrów hydraulicznych pracy sieci jest istotne ze względów eksploatacyjnych jak również i ekonomicznych. Tym bardziej, że po latach obserwacji tendencji spadkowej zużycia i produkcji wody obserwujemy jej wyhamowanie. Generuje to również powstawanie mniejszej ilości ścieków. Należy zatem wziąć pod uwagę potrzebę weryfikacji wartości wskaźników przyjmowanych do określania parametrów hydraulicznych projektowanych jak również eksploatowanych obiektów. Podstawą do określenia tych wskaźników może powinny stać się wielkości poboru i zużycia wody, które po latach tendencji spadkowej utrzymują się na podobnym poziomie. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wielkości odpływu ścieków na przykładzie Olecka. Na podstawie analizy zebranych danych podjęto próbę wskazania sezonowości odpływu ścieków, wyboru funkcji autoregresji czy dopasowanie modelu adaptacyjnego oraz interpretację zmian obserwowanych w okresie prowadzonych badań.

PRZEDMIOT BADAŃ I METODYKA

Olecko położone jest w północno-wschodniej części Polski, w województwie warmińsko-mazurskim. Miasto znajduje się na wschodnich krańcach Pojezierza Mazurskiego, na szlaku łączącym Krainę Wielkich Jezior Mazurskich z Pojezierzem Suwalsko-Augustowskim. Jest znaczącym ośrodkiem o charakterze rekreacyjno-wypoczynkowym. Miasto jest zarówno siedzibą jak i stolicą powiatu.

Na terenie miasta w latach 2007–2012 zrealizowano projekt obejmujący uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej. W ramach projektu wykonano rozbudowę stacji uzdatniania i sieci wodociągowej, modernizację oczyszczalni ścieków oraz remonty sieci kanalizacji sanitarnej.

Długość sieci kanalizacji sanitarnej bez przyłączy na terenie miasta wynosi 71,6 km w tym sieć grawitacyjna to 49,0 km. a poziom skanalizowania 99,8%.

Do oczyszczalni w Olecku dopływają ścieki stanowiące mieszaninę ścieków bytowo-gospodarczych, przemysłowych, deszczowych dostających się przez nieszczelności do kanalizacji sanitarnej oraz dowożonych taborem asenizacyjnym. Na terenie miasta funkcjonują zakłady przemysłowe, z których istotny wpływ na jakość i ilość ścieków dopływających do oczyszczalni mają rzeźnia, masarnia oraz zakład mleczarski. W sezonie letnim występuje zwiększony pobór wody w związku z obsługą ruchu turystycznego [Bartkowska 2014].

Modernizację tej oczyszczalni przeprowadzono w roku 2009. Oczyszczanie ścieków zapewnia system wielofazowych reaktorów SBR wykorzystujących metodę niskoobciążonego osadu czynnego. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do stawów stabilizacyjnych a ostatecznym ich odbiornikiem jest rzeka Lega. Stabilizację i higienizację osadów zapewnia proces autotermicznej stabilizacji. Przetworzone i odwodnione osady ściekowe są wykorzystane jako nawóz w rolnictwie poprzez ich bezpośredni wywóz na pola uprawne. Szczegółowy opis przedmiotowej oczyszczalni ścieków oraz schemat technologiczny można znaleźć we wcześniejszych pracach [Bartkowska 2013a, 2013b, Bartkowska i Klaus 2013].

Do analizy wykorzystano, zarejestrowane w czasie prowadzonych badań, odczyty z urządzenia pomiarowego zlokalizowanego na terenie oczyszczalni. Do pomiaru ilości ścieków wykorzystywany jest przepływomierz SONIX DN300 zlokalizowany w studzienice kanalizacyjnej na rurociągu odpływowym ścieków oczyszczonych Ø300 mm.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Zgromadzone w okresie prowadzonych badań wyniki poddano analizie statystycznej. Wartości wybranych statystyk opisowych przedstawiono w tabeli 1.

W badanym okresie średni dobowy odpływ ścieków z oczyszczalni w Olecku wynosił 2812,3 m³/d. Minimalny osiągnął wartość 498,0 m³/d, a zaobserwowany został w czwartek 11 grudnia.

Tabela 1. Wybrane wartości statystyk opisowych dobowych i miesięcznych wartości odpływu ścieków
Table 1. Selected values of descriptive full day stats and monthly values of sewage effluent

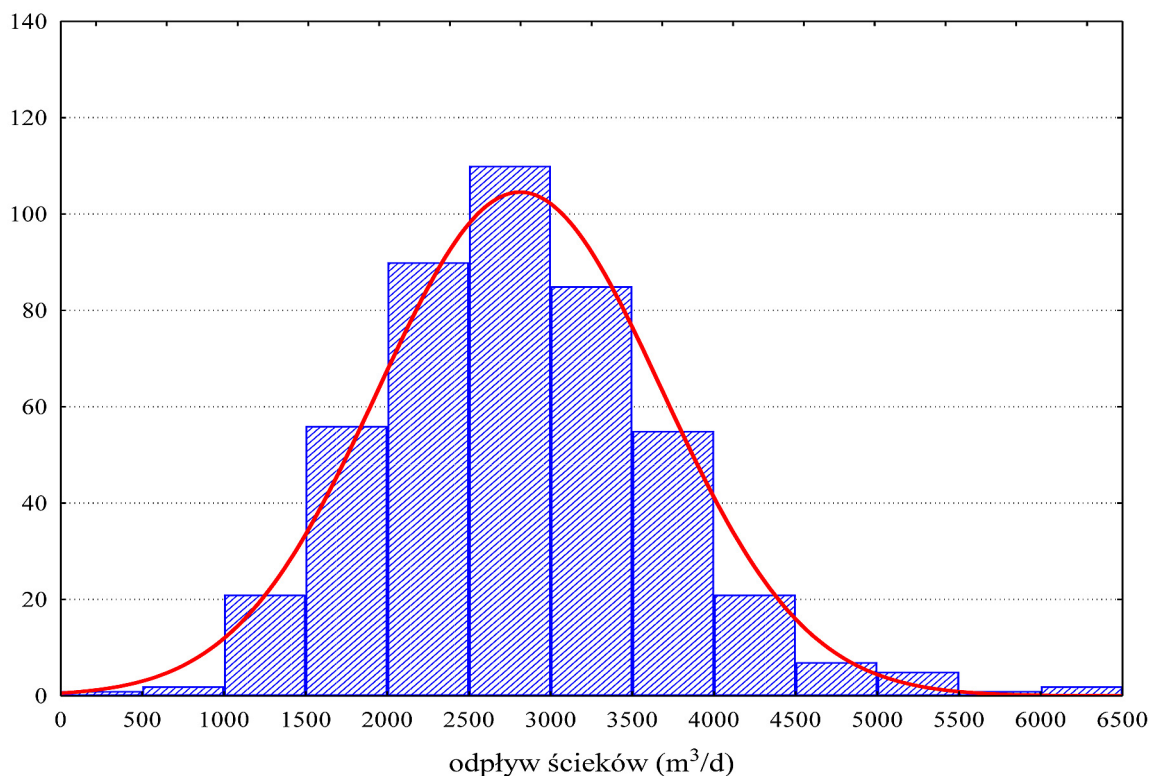
Miary rozkładu	Odpływ ścieków	
	dobowy (m ³ /d)	miesięczny (m ³ /m-c)
Wartość średnia	2812,3	85494,9
Wartość minimalna	498,0	68224,0
Wartość maksymalna	6470,0	116931,0
Mediana	2758,0	86771,0
Wariancja	756769	20118635
Odchylenie standardowe	869,9	14219,2
Współczynnik skośności	0,559	0,833
Kurtoza	0,98	0,36
Percentyl 10%	1826,0	69609,0
Percentyl 90%	3880,0	109053,0

Maksymalny odpływ ścieków osiągnął wartość 6470,0 m³/d w sobotę 15 marca. Mediana z próby, jako zgodny i asymptotycznie nieobciążony estymator wartości oczekiwanej, wynosi 2758,0 m³/d i jest równocześnie wielkością poniżej i powyżej której znajduje się dokładnie połowa obserwacji. Analizowane wielkości dobowego odpływu ścieków charakteryzuje niewielka prawostronna

asymetria, o czym świadczy dodatnia wartość współczynnika skośności. Rozkład jest zbliżony do normalnego, co potwierdza test Shapiro-Wilka, dla którego $W = 0,98207$, a $p = 0,00002$. Rozkład dobowego odpływu ścieków przedstawia histogram na rys. 1.

Na podstawie wykresu należy stwierdzić, że najczęściej zanotowanych wartości mieści się w zakresie od 1500,0 m³/d do 4000,0 m³/d. Również w tym przedziale występuje wartość średnia i mediana. Aby określić miarę zróżnicowania analizowanych wartości obliczono wariancję i odchylenie standardowe (tabela 1). Otrzymane wyniki pozwoliły uznać badany zbiór wartości za jednorodny. Obliczone wartości percentyli pozwalają na stwierdzenie, że prawdopodobieństwo wystąpienia odpływu ścieków mniejszego niż 1826,0 m³/d i większego niż 3880,0 m³/d wynosi 10%.

W analizowanym okresie nie odnotowano istotnej nierównomierności odpływu ścieków w poszczególnych dniach tygodnia. Wielkość odpływu ścieków nie odzwierciedla schematu poboru wody, który jest wynikiem poczynań i nawyków mieszkańców w ciągu tygodnia [Bartkowska 2014]. Potwierdza to także Bugajski [2007] w swoich publikacjach.



Rys. 1. Histogram dobowego odpływu ścieków
Fig. 1. 24h histogram of full-day sewage effluent

Analiza zebranych wyników wskazuje okresy zwiększonego odpływu ścieków. Szczególnie uwidacznia się to przy rozważaniu wartości miesięcznego odpływu. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe miesięczne ilości odpływu ścieków zaobserwowane w 2014 r.

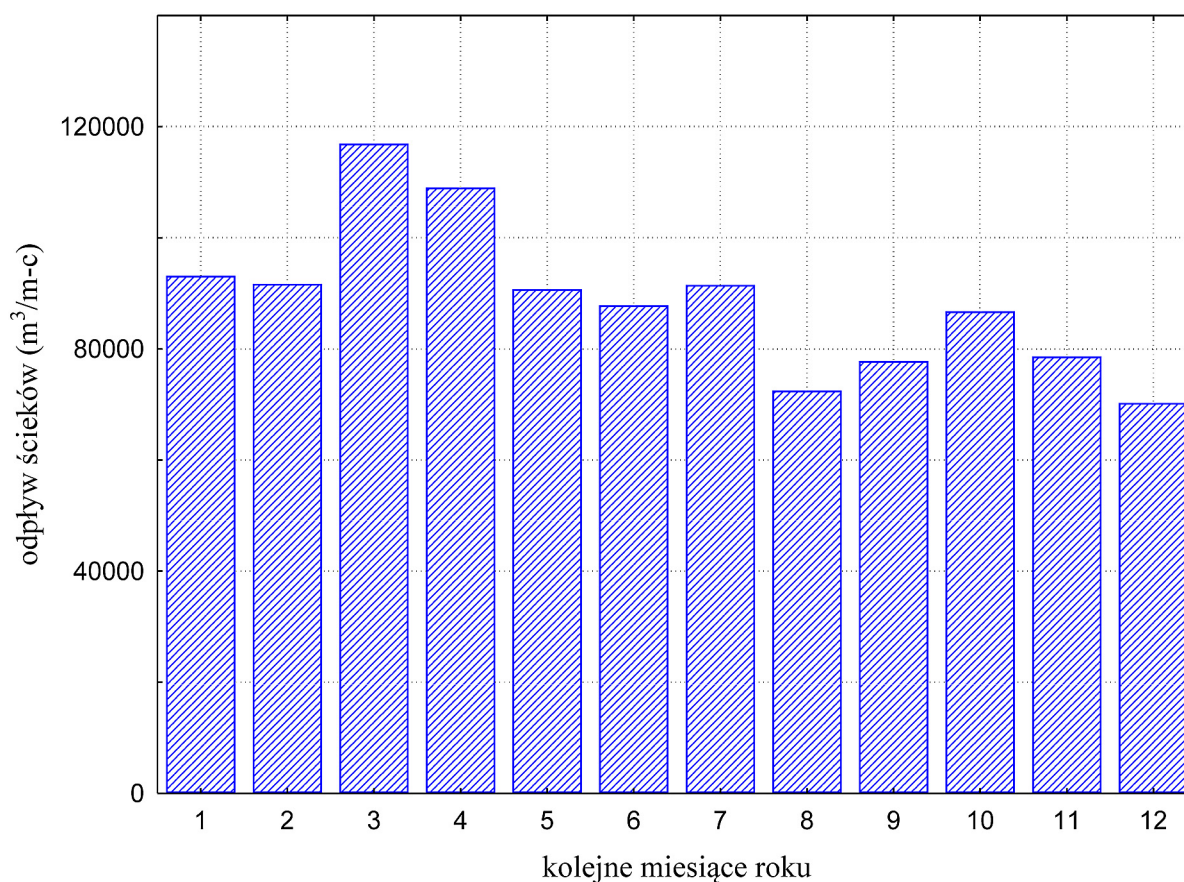
Większy odpływ ścieków przypada w okresie zimowo-wiosennym. Potwierdzają to obserwacje innych badaczy o występowaniu największego odpływu ścieków w marcu [Bugajski 2009, Kaczor 2006]. W okresie objętym badaniami największy miesięczny dopływ ścieków wystąpił w marcu.

Badane wielkości dobowego odpływu ścieków charakteryzują kolejne wartości w zbiorze analizowanych danych wykonane w równych odstępach czasu. W celu zbadania natury zjawiska reprezentowanego przez sekwencję obserwacji można zatem wykorzystać analizę szeregów czasowych. Pozwoli to na lepsze poznanie dynamiki zmian odpływu ścieków w okresie prowadzonych badań.

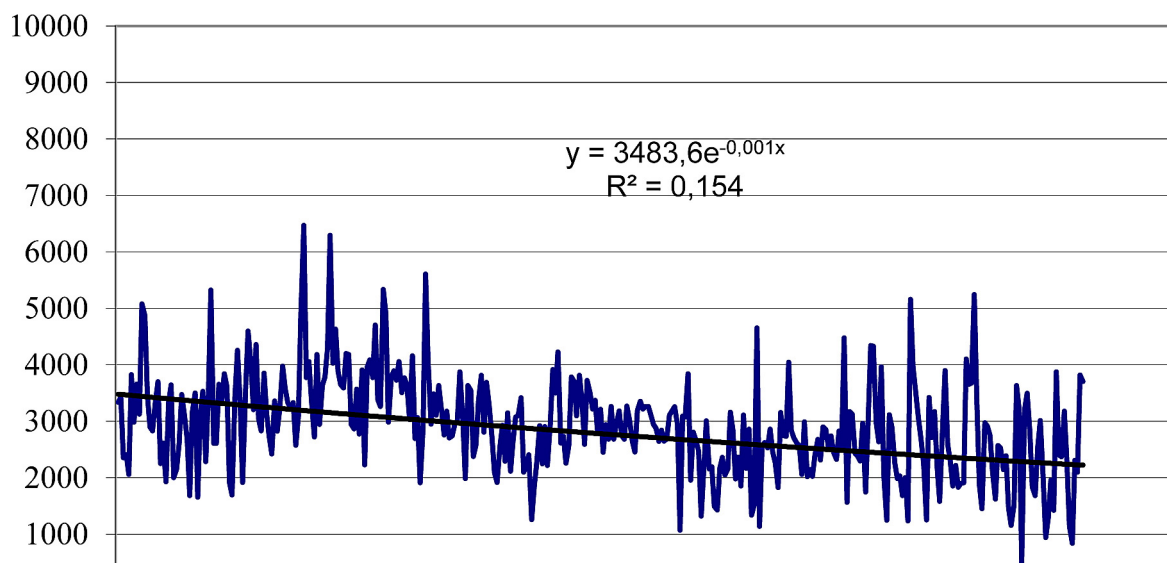
W pierwszej kolejności dokonano weryfikacji szeregu czasowego odpływu ścieków pod kątem

występowania trendu. Przeanalizowano modele trendu liniowego, logarytmicznego, wielomianowego stopnia drugiego, potęgowego i wykładniczego. Wskaźnik jakości dopasowania modelu R-kwadrat wyniósł kolejno 0.1431, 0.0772, 0.1453, 0.0806 i 0,154. Żaden z modeli nie dopasował się do danych rzeczywistych odpływu ścieków w oczekiwanych co najmniej 60%. Najlepszy z analizowanych modeli trend wykładniczy wyjaśnia zmienność Y zaledwie w 15,4%. Wykres najlepiej dopasowanego trendu przedstawiono na rysunku 3.

Przedmiotem analizy było również poszukiwanie sezonowości analizowanego szeregu. Do badania wykorzystano dynamiczny model ekonometryczny ze zmiennymi zerojedynkowymi, przyjmując dla zmiennych wartości jeden lub zero w odpowiednich dniach tygodnia. Każda ze zmiennych sezonowych jest statystycznie istotna ponieważ wartość p w teście t-Studenta jest mniejsza od przyjętego w badaniach poziomu istotności 0,05. Dopasowanie modelu okazało się jednak bardzo słabe ponieważ wyjaśnia zmienność odpływu ścieków tylko w 21,97%, co



Rys. 2. Zmienność miesięcznych odpływów ścieków
Fig. 2. Variability of monthly sewage effluent



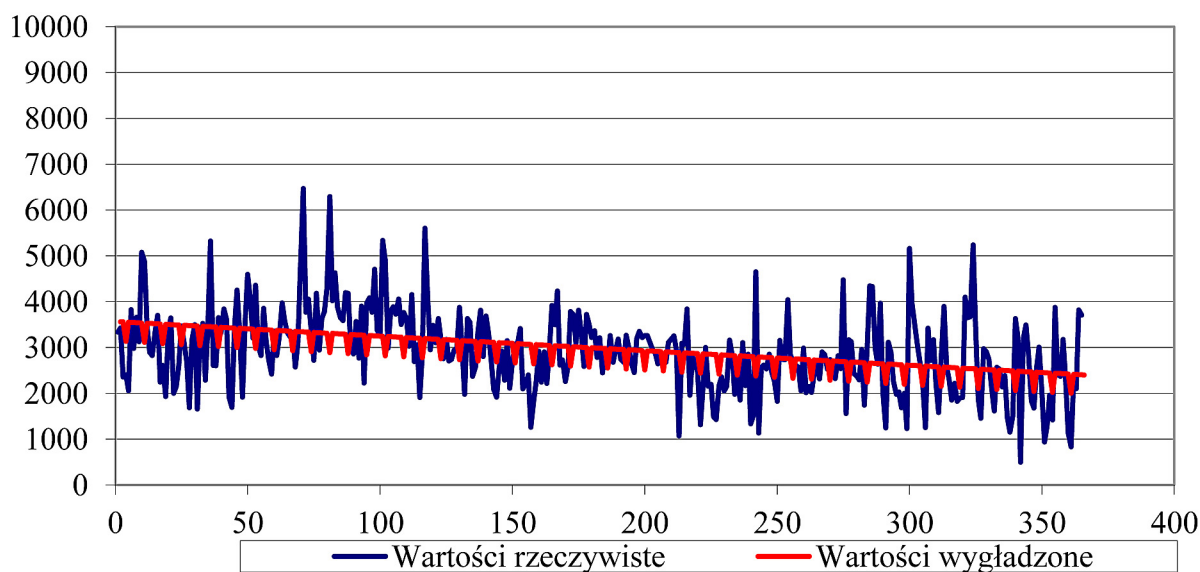
Rys. 3. Dobowy odpływ ścieków wraz z linią trendu
Fig. 3. Full-day sewage effluent with the trend line

dyskwalifikuje go do użycia jako narzędzie prognostyczne. Rozpatrywany wykres sezonowości przedstawiono na rysunku 4.

Na podstawie wykonanych analiz model ten można zinterpretować w taki sposób, że w badanym okresie odpływ ścieków malał średnio codziennie o $3,18 \text{ m}^3$ ze średnim błędem szacunku $0,4 \text{ m}^3$. W poniedziałek odpływ ścieków był średnio o $421,12 \text{ m}^3$ mniejszy niż średnia w pozostałych dniach tygodnia ze średnim błędem szacunku $120,90 \text{ m}^3$.

Dla analizowanego szeregu czasowego podjęto próbę skonstruowania modelu autoregresyjnego, w którym wartości zmiennej prognozowanej są funkcją wartości tej zmiennej w momentach lub okresach poprzedzających okres badany oraz składnika losowego. Dopasowanie tego modelu okazało się jednak bardzo słabe, gdyż współczynnik determinacji wynosi tylko 14,6%.

W dalszej analizie przekształcony szereg czasowy poddano weryfikacji liniowym modelem Holta. Metoda Holta (MH) jest przydatna



Rys. 4. Wyniki analizy sezonowości badanego szeregu czasowego
Fig. 4. Results of the seasonality analysis for time series under study

do wygładzania szeregów czasowych, w których występują wahania przypadkowe i tendencja rozwojowa. Do budowy modelu przyjęto początkowe wartości F_1 i S_1 . Jako wartość F_1 przyjęto wartość pierwszej zmiennej szeregu y_1 , a jako S_1 różnicę $y_2 - y_1$. Wartości parametrów α i β dobrano minimalizując wartości średniego błędu kwadratowego prognozy wygasłych ($\alpha = 0.140464$, $\beta = 0.06763$). Przeprowadzono symulację obliczeń parametrów opisujących miarę dopasowania modelu do danych empirycznych. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Średnia wartość oszacowanej na podstawie modelu zmiennej wynosi 2922,896 m³/d. Wartości zmiennej objaśnianej różnią się od wartości empirycznych o $\pm 825,65$ m³/d. Średnia wielkość błędów prognoz dla analizowanego okresu wynosi 25,1% rzeczywistych wartości zmiennych. Odchylenie standardowe reszt stanowi 28,25% wartości średniej zmiennej objaśnianej. Szereg czasowy wyjściowy i wygładzony przedstawiono na rysunku 5.

Jednak ze względu na większy od 10% i wynoszący 25,1% względny błąd prognoz wygasłych MAPE oraz ponad 28-procentowy iloraz odchylenia standardowego błędów i zmiennej Y należy uznać metodę Holta za niewiarygodną do prognozowania analizowanego szeregu czasowego. Prognozowanie na podstawie tego modelu odpływu ścieków należy uznać za niedopuszczalne.

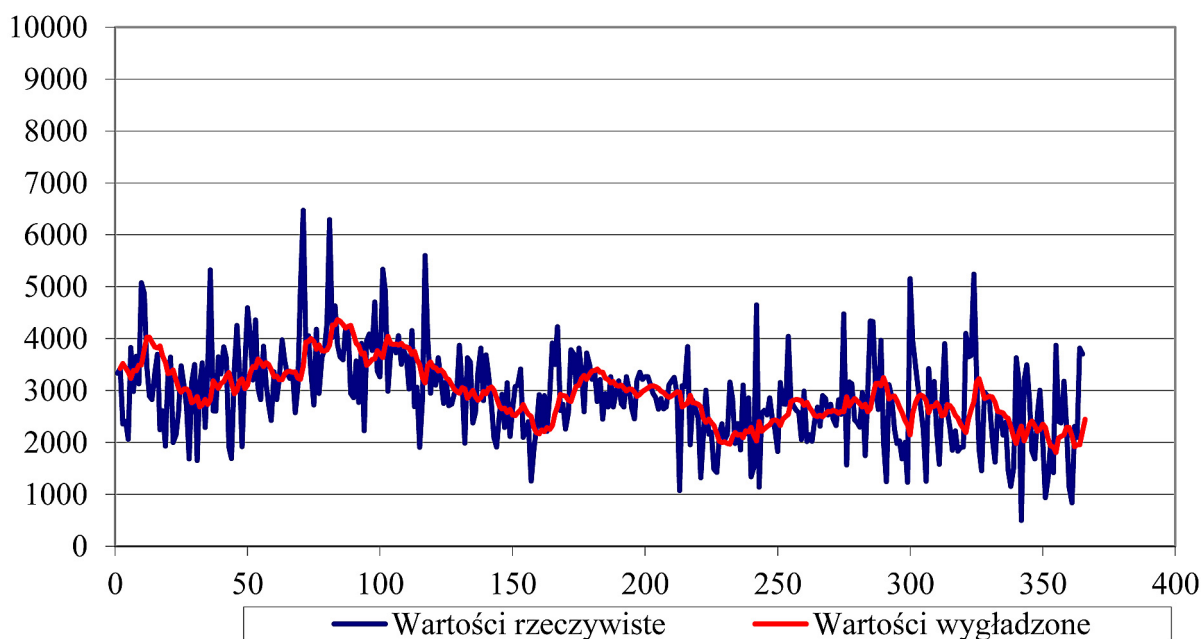
Tabela 2. Wyniki poprawności dopasowania modelu do rzeczywistego szeregu

Table 2. Results of model matching correctness to the real series

Nazwa parametru (jednostka)	Obliczona wartość
Średnia wartość objaśnianej zmiennej (m ³ /d)	2922,896
Wartość średnia względnych błędów prognoz – MAPE (%)	25,1
Średni kwadrat błędów prognoz wygasłych	681700,976
Pierwiastek kwadratowy ze średniego błędu prognozy (m ³ /d)	825,65
Średni względny błąd prognoz wygasłych (%)	28,25

Trzeba jednak pamiętać, że ścieki oczyszczalne odprowadzane do odbiornika niosą ze sobą określone ładunki zanieczyszczeń, których wielkość dla średnich wartości stężenia przedstawiono w tabeli 3.

Zastosowany w oczyszczalni ścieków układ technologiczny doskonale zdaje egzamin, zapewniając bardzo wysoką skuteczność redukcji zanieczyszczeń. Parametry ścieków oczyszczonych nie tylko spełniają warunki ujęte w pozwoleniu wodno-prawnym czy obowiązującym rozporządzeniu ale także charakteryzują się znaczną stabilnością uzyskiwanych efektów oczyszczania. Ładunki zanieczyszczeń odprowadzane są jednak do rzeki, która charakteryzuje się niewielkim przepły-



Rys. 5. Wykres szeregu czasowego ukazujący wartości rzeczywiste i dopasowane linią MH
Fig. 5. Diagram of time series showing real and MH-line adapted values

Tabela 3. Ładunek zanieczyszczeń odprowadzany w ściekach oczyszczonych
Table 3. Load of impurities in discharged sewage

Wskaźnik zanieczyszczenia	Ładunek zanieczyszczeń obliczony w odniesieniu do odpływu ścieków (kg/d)		
	średniego	minimalnego	maksymalnego
Zawiesiny ogólne	30,3	5,4	69,8
ChZT	143,8	25,5	330,8
BZT ₅	15,4	2,7	35,4
Fosfor ogólny	3,0	0,5	6,9
Azot ogólny	25,7	4,5	59,2

wem SNQ, wynoszącym 0,163 m³/s. Wody rzeki Lega, prawobrzeżnego dopływu Biebrzy, według WIOŚ w Olsztynie zostały pod względem fizykochemicznym określone jako poniżej stanu dobrego (PSD), głównie z uwagi na zawartość tlenu rozpuszczonego i azotu Kjeldahla [Raport 2011].

Na podstawie analizowanych danych oraz liczby mieszkańców obliczono jednostkowy wskaźnik przedstawiający odpływ ścieków w odniesieniu do liczby stałych mieszkańców obsługiwanych przez istniejącą sieć kanalizacyjną. Wartość jednostkowego wskaźnika odpływu ścieków w Olecku wahała się w zakresie od 28,8 dm³/M d do 289,0 dm³/M d. Wahania wartości tego wskaźnika były oczywiście obserwowane zarówno w skali roku jak i tygodnia. Średnia wartość wynosiła 162,6 dm³/M d. W okresie prowadzonych badań 80% wartości mieściła się w przedziale od 105,6 do 224,4 dm³/M d. W analizowanym okresie ilość pobieranej wody wynosiła od 75,2 do 119,8 dm³/M d. Analiza statystyczna nie wykazała korelacji pomiędzy ilością pobieranej wody a ilością odprowadzanych ścieków. Najwidoczniej zjawiska związane z odprowadzaniem ścieków przybierają taki charakter iż zmieniają się w sposób całkowicie „nieuporządkowany”. Uzyskane wartości jednostkowego odpływu ścieków wskazują raczej na górne wartości najczęściej stosowanych w Polsce w zakresie od 130 do 160 dm³/M d [Królikowska i inni 2015]. Badacze zjawiska odpływu ścieków zwracają uwagę, że na obszarach wiejskich obserwuje się znacznie mniejsze ilości odprowadzanych ścieków [Kaczor 2006, Bugajski 2007, 2009]. Według Kaczor [2006] jednostkowy odpływ ścieków w latach 2003–2005 wynosił średnio 67,1 dm³/M d. W tym samym okresie według Bergela [2005] wynosił od 71,3 do 74,8 dm³/M d. Te wskaźniki zdecydowanie odbiegają od wartości stosowanych w projektowaniu. A przecież w praktyce inżynierskiej rzeczywista ilość ścieków oraz nie-

równomierność ich dopływu do oczyszczalni to podstawowe dane, które determinują prawidłowe zaprojektowanie infrastruktury wodno-ściekowej. Rzeczywiste wartości ilości powstających ścieków stanowią wskazówkę dla projektantów w procesie wyznaczania bilansu ścieków dopływających do oczyszczalni oraz dla operatorów oczyszczalni przy prognozowaniu charakterystycznych przepływów oraz prac remontowych i modernizacyjnych.

PODSUMOWANIE

Poziom współczesnej inżynierii, technologii i ekonomii pozwala projektować, budować i eksploatować niezawodne systemy wodociągów i kanalizacji z uwzględnieniem ich wielkości, lokalnych uwarunkowań środowiskowych, cywilizacyjnych czy kulturowych. Badania natomiast dostarczają narzędzi do planowania optymalnej struktury systemów kanalizacyjnych oraz urządzeń, sterowania procesem eksploatacji, programowania modernizacji i rozwoju tych systemów. Dlatego ważne jest stałe monitorowanie wielkości odpływu ścieków i w odniesieniu do całego kraju. Bez tych informacji nie jest możliwe określenie specyfiki istniejących warunków i racjonalizowanie nowych rozwiązań technicznych.

Przeprowadzone badania służyły zgromadzeniu informacji dotyczących odpływu ścieków z oczyszczalni w Olecku. Wprawdzie analiza zebranego materiału badawczego nie pozwoliła na dopasowanie modelu trendu czy sezonowości i nie wskazała metody wiarygodnej do prognozowania ale zaprezentowane wyniki pomiarów mogą jednak okazać się przydatne jako materiał porównawczy. Wykazano, że w przypadku Olecka odpływ ścieków nie zależy głównie od ilości zużywanej wody. Badane zjawisko ma bardziej złożony charakter, który kształtuje również występowanie wód infiltracyjnych i przypadko-

wych. Nie bez znaczenia jest także dopływ ścieków z zakładów przemysłowych, głównie z rzeźni, masarni oraz mleczarni, który stanowi około 17% całkowitej ilości ścieków.

Nie oznacza to, że wielkości odpływu ścieków z oczyszczalni w Olecku nie powinny być analizowane. Tym bardziej, że według WIOŚ w Olsztynie rzeka Lega na całej swojej długości jest bezpośrednim i pośrednim odbiornikiem zanieczyszczeń a największym punktowym źródłem zanieczyszczeń są właśnie ścieki z oczyszczalni w Olecku [Raport 2011]. Z tego względu wskazane jest dalsze kontynuowanie badania sezonowości czy trendu oraz próby dopasowania modelu odprowadzania ścieków, które należałoby przeprowadzić na odpływach godzinowych. Takie analizy pozwalają na uzyskanie możliwości prognozowania zarówno natężenia dopływu jak i jakości dopływających ścieków [Sobota i Szetela 2005]. Niestety w odniesieniu do oczyszczalni w Olecku uzyskanie takich danych nie było możliwe.

LITERATURA

1. Bartkowska I. 2013a. Sludge as an agent improving soil properties. *Journal of Ecological Engineering*, 14(2), 63–67.
2. Bartkowska I. 2013b. Możliwości wykorzystania wybranych parametrów technologicznych w ocenie kinetyki procesu autotermicznej termofilnej stabilizacji osadów ściekowych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej*, s. 130.
3. Bartkowska I. 2014. Dynamics of water consumption changes in a tourist resort. *Journal of Ecological Engineering*, 15(4), 46–54.
4. Bartkowska I., Klaus W. 2013. Analiza skuteczności działania oczyszczalni ścieków pracującej w systemie SBR. *Ekonomia i Środowisko*, 4(47), 107–117.
5. Bergel T. 2005. Optymalizacja doboru jednostkowego odpływu ścieków jako warunek prawidłowego funkcjonowania wiejskich systemów kanalizacyjnych. *GWiTŚ*, 11, 23–26.
6. Bugajski P. 2007. Dynamika dopływu ścieków do oczyszczalni w Głogowie Małopolskim. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 2, 103–109.
7. Bugajski P. 2009. Ilość dopływających ścieków do oczyszczalni w Tęgoborzy. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 9, 23–32.
8. Kaczor G. 2006. Jednostkowe odpływy ścieków z kanalizacji w gminie Koszyce. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 2/1, 171–182.
9. Królikowska J., Królikowski A., Żaba T. 2015. *Kanalizacja. Podstawy projektowania, wykonawstwa i eksploatacji*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, s. 664.
10. Raport o stanie środowiska województwa warmińsko-mazurskiego w 2010 roku. 2011. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Olsztyn, s.162.
11. Sobota J., Szetela R. 2005. Jednowymiarowe modele natężenia i jakości ścieków dopływających do oczyszczalni komunalnych. *Ochrona Środowiska*, 1, 15–22.