

Monika KOLENDO

CZYNNIKI EKONOMICZNO-ŚRODOWISKOWE W MODELOWANIU MIESIĘCZNEGO ZAPOTRZEBOWANIA NA WODĘ NA PRZYKŁADZIE BIAŁEGOSTOKU

Monika Kolendo, mgr inż. – doktorantka, Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

e-mail: monika.kolendo@wp.pl

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS IN MODELING MONTHLY WATER DEMAND: THE CASE STUDY OF BIALYSTOK

SUMMARY: The paper discusses selected factors potentially affecting a monthly water demand in the Białystok water system. At the beginning economical factor i.e. water price was considered. Then, the correlation between monthly water demand and four environmental aspects were analysed. Finally, five linear econometric models were estimated. The first model includes only water price and describes monthly water demand from September to April. The next models involve months from May to August and include, apart from water price, variability meteorological parameters (rainfall and air temperature). The estimated functions characterise a very good compatibility between simulated and real data.

KEYWORDS: monthly water demand, urban water system, linear regression

Wstęp

Podstawowym elementem w procesie planowania, projektowania i eksploatacji systemów wodociągowych jest analiza zużycia wody prowadząca do wychwycenia relacji i prawidłowości charakterystycznych dla badanego procesu¹. Wśród wielu metod analizy zmienności oraz prognozowania zapotrzebowania na wodę można wymienić analizy szeregów czasowych, metody wskaźnikowe oraz metody korelacyjne². Ostatnia z wymienionych metod pozwala na określenie relacji pomiędzy ilością wody wtłoczonej do sieci wodociągowej w przeszłości a czynnikami warunkującymi te wielkości. Do charakterystyki oraz prognozowania długoterminowego i średnioterminowego zużycia wody często są wykorzystywane modele ekonometryczne oparte na regresji liniowej³.

Analizy zapotrzebowania na wodę na obszarach miejskich są szczególnie istotne w świetle utrzymującej się od wielu lat malejącej tendencji ilości zużywanej wody⁴. Wspomniany trend spadkowy jest pochodną przemian zachodzących w sferze technicznej, społecznej i ekonomicznej⁵. Do czynników warunkujących te zmiany można zaliczyć zmniejszenie awaryjności⁶, sukcesywną modernizację sieci oraz skuteczny jej monitoring przy wykorzystaniu zintegrowanych systemów informatycznych wspomagających proces zarządzania przedsiębiorstwem wodociągowym⁷. Malejąca wielkość zużywanej wody jest również następstwem podniesienia świadomości wartości wody, jej ceny oraz wzrostu wynagrodzenia mieszkańców, co między innymi umożliwia dostęp do wodooszczędnych urządzeń AGD oraz dobrej jakości-

¹ Z. Siwoń, W. Cieżak, J. Cieżak, *Analiza i prognozowanie szeregów czasowych krótkotrwałego poboru wody*, „INSTAL” 2006 nr 2, s. 44-49.

² H. Hotłoś, *Analiza wpływu czynników meteorologicznych na zmienność poboru wody w miejskim systemie wodociągowym*, „Ochrona Środowiska” 2013 nr 2, s. 57-61.

³ J. Adamowski, Hiu Fung Chan, S.O. Prasher, B. Ozga-Zielinski, A. Silisarieva, *Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network and wavelet artificial neural network for urban water demand forecasting in Montreal Canada*, “Water Resources Research” 2012 nr 48, s. 1-14.

⁴ L. Kłós, *Dostępność do wody jako jeden z obszarów realizacji Milenijnych Celów Rozwoju*, „Ekonomia i Środowisko” 2014 nr 3(50), s. 167-175.

⁵ A. Thier, *Aksjologiczne, ekonomiczne i społeczne problemy gospodarki wodnej*, „Ekonomia i Środowisko” 2015 nr 3(54), s. 10-24.

⁶ I. Zimoch, E. Szymura, *Klasyfikacja stref systemu dystrybucji wody według wskaźników strat wody i awaryjności sieci*, „INSTAL” 2013 nr 7/8, s. 64-68.

⁷ A. Trębicka, *Modelowanie i prognozowanie systemów związanych z dystrybucją wody*, „Ekonomia i Środowisko” 2013 nr 4(47), s. 245-254.

wo armatury sanitarnej. Ponadto, na wielkość zarówno rocznego, miesięcznego, jak i dobowego zapotrzebowania na wodę mają wpływ również czynniki środowiskowe, czyli zmienność warunków meteorologicznych, w szczególności suma opadów oraz średnia temperatura powietrza⁸.

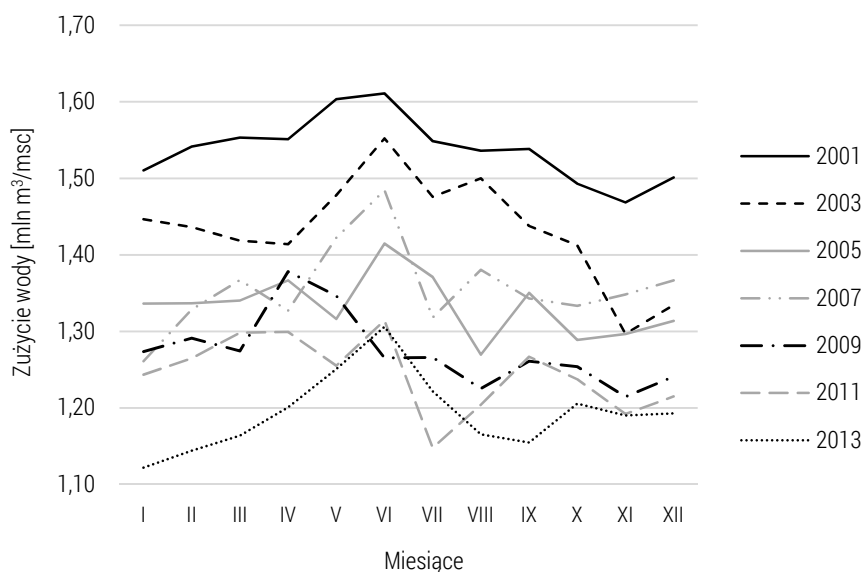
Celem niniejszej pracy była analiza wpływu czynników meteorologicznych (temperatury powietrza, wilgotności powietrza, miesięcznej sumy opadów oraz zachmurzenia) na miesięczne zużycie wody w miejskiej sieci wodociągowej Białegostoku. Utworzone zostały liniowe modele ekonometryczne miesięcznego zużycia wody uwzględniające, oprócz warunków meteorologicznych, również czynnik ekonomiczny – cenę za wodę i odprowadzanie ścieków na obszarze Białegostoku. Zadaniem wyznaczonych modeli matematycznych było wskazanie tendencji zużycia wody w przyszłości oraz określenie wpływu czynników egzogenicznych kształtujących proces zapotrzebowania na wodę.

Miesięczne zużycie wody w Białymstoku

W niniejszej analizie wielkość miesięcznego zapotrzebowania na wodę obliczono w postaci średniej arytmetycznej pomiarów dobowych w danym miesiącu, a następnie pomnożenie jej przez liczbę 30 reprezentującej uśrednioną liczbę dni w poszczególnych miesiącach. Analizą na tym poziomie objęto lata 2001-2013, czyli łącznie 156 elementów szeregu czasowego (miesiące). Niezbędne dane wyjściowe zostały udostępnione przez Wodociągi Białostockie Sp. z o.o. .

Analizując szereg czasowy miesięcznego zapotrzebowania na wodę widoczna jest wyraźna malejąca tendencja. Z wykresu miesięcznego zużycia wody w latach 2001-2013 wyraźnie widać obniżające się z upływem czasu linie łamane. Celem czytelniejszego przekazu na rysunku zaprezentowano tylko lata nieparzyste. Średnie miesięczne zapotrzebowanie na wodę w latach 2001-2013 wynosi 1,34 mln m³. Największa średnia miesięczna wartość badanej zmiennej wynosiła 1,54 mln m³ i została odnotowana w 2001 roku, zaś najmniejsza to 1,19 mln m³ zaobserwowana w 2013 roku. Widoczna jest nieznaczna tendencja zwyżkowa od stycznia do kwietnia oraz wyraźnie zwiększone zużycie wody od maja do sierpnia, a następnie tendencja malejąca do końca roku (rysunek 1).

⁸ A. Yasar, M. Bilgili, E. Simsek, *Water Demand Forecasting Based on Stepwise Multiple Nonlinear Regression Analysis*, "Arabian Journal of Science and Engineering" 2012 nr 37, s. 2333-2341; P.K. Tuz, J. Gwoździej-Mazur, K. Barbarczyk, *Wybrane aspekty prognozowania zużycia wody w budownictwie wielorodzinnym*, „INSTAL” 2003 nr 5, s. 40-43.



Rysunek 1. Miesięczne sumy zapotrzebowania na wodę w latach 2001-2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Wodociągów Białostockich.

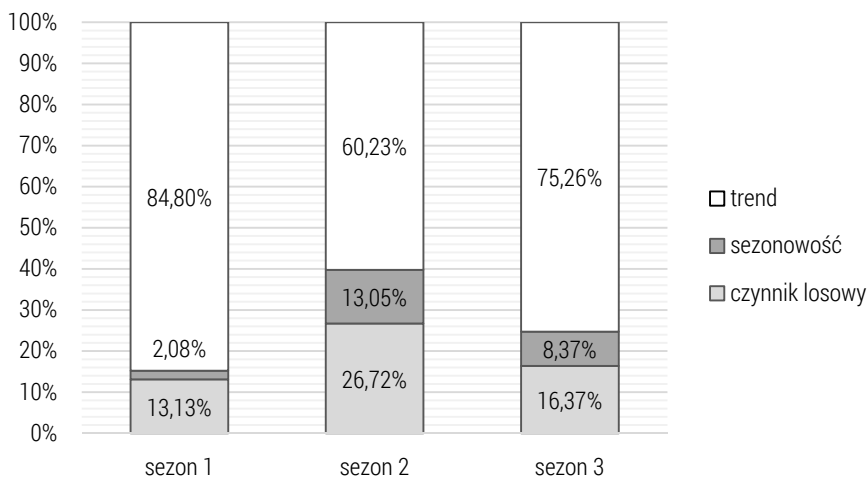
Przeprowadzone dotychczas analizy miesięcznego zapotrzebowania na wodę w Białymstoku pozwoliły na wyodrębnienie trzech charakterystycznych sezonów w ciągu roku⁹:

- Sezon pierwszy: od stycznia do kwietnia.
- Sezon drugi: od maja do sierpnia.
- Sezon trzeci: od września do grudnia.

W wyniku dekompozycji szeregu czasowego otrzymano udział procentowy poszczególnych składowych systematycznych szeregu czasowego. Największą zmiennością zapotrzebowania na wodę charakteryzuje się okres drugi obejmujący miesiące od maja do sierpnia¹⁰. W ciągu całego roku na wielkość zużycia wody wpływa utrzymująca się od wielu lat tendencja malejąca zużycia wody, natomiast od maja do sierpnia odnotowano dodatkowo większe niż w pozostałych miesiącach wahania sezonowe i przypadkowe (rysunek 2).

⁹ M. Kolendo, *Zmienność zapotrzebowania na wodę w systemie wodociągowym Białego-stoku*, w: A. Dziegielewska, D. Szychowski, J. Wernik (red.), *Wybrane problemy techniki*, Płock 2015, s. 228-237.

¹⁰ Ibidem.



Rysunek 2. Udział składowych systematycznych w wyróżnionych sezonach

Źródło: na podstawie: M. Kolendo, *Zmienność zapotrzebowania na wodę w systemie wodociągowym Białegostoku* w: A. Dzięgielewski, D. Szychowski, J. Wernik (red.), *Wybrane problemy techniki*, Płock 2015, s. 228-237.

Wpływ poszczególnych czynników na zużycie wody

Do szczegółowej analizy miesięcznego zużycia wody wybrano jeden czynnik ekonomiczny (cenę za wodę i odprowadzanie ścieków [zł/m³]) oraz cztery czynniki środowiskowe (temperaturę powietrza [°C], wilgotność powietrza [%], opady [mm], zachmurzenie [oktany]). Badania autorki dotyczące rocznego zużycia wody wskazują, że długotrwałe, jednokierunkowe zmiany zużycia wody warunkuje w głównej mierze tendencja rosnąca ceny za wodę i odprowadzanie ścieków. Na przestrzeni lat 2001-2013 odnotowano ponad dwukrotny wzrost tego parametru ekonomicznego (od 3,13 zł/m³ w styczniu 2001 roku do 6,42 zł/m³ w grudniu 2013 roku). Współczynnik korelacji średniej rocznej ceny za wodę i odprowadzanie ścieków oraz rocznego zapotrzebowania na wodę osiąga poziom -0,95.

Ponadto, przy doborze zmiennych objaśniających do modelu zwrócono również uwagę na największą zmienność procesu zużycia wody w okresie maj-sierpień. Dlatego też, przeprowadzono szczegółowe analizy wahań wielkości zużycia wody oraz zmienności warunków meteorologicznych we wskazanych miesiącach. Celem wychwycenia jedynie wahań sezonowych, szereg miesięcznego zużycia wody sprowadzono do postaci stacjonarnej eliminującej zmiany kierunkowe. Ze względu na fakt, iż trend jest jednym z czynników zakłócających stacjonarność, już na podstawie analizy wzrokowej można

wnioskować o niestacjonarność szeregu ze względu na wartość oczekiwaną. W celu osiągnięcia stacjonarności obliczono pierwsze przyrosty szeregu. Utworzono w ten sposób szereg zintegrowany stopnia 1 ($Y_t \sim I(1)$), który obrazuje wyłącznie wahania sezonowe oraz przypadkowe (wyłączony został wpływ trendu).

W celu wskazania związku przyczynowego zwiększonych wahań sezonowych i przypadkowych w okresie od maja do sierpnia, zestawiono wartości zintegrowanego szeregu miesięcznego zapotrzebowania na wodę [mln m³] z parametrami meteorologicznymi tj. średnią miesięczną temperaturą powietrza [°C], opadami [mm], wilgotnością powietrza [%] oraz zachmurzeniem [oktany]. Dane meteorologiczne dla stacji Białystok (WMO indeks – 12295) pozyskano z serwisu OGIMET¹¹.

Obliczone wartości wskaźników korelacji pomiędzy parametrami meteorologicznymi oraz wartościami średniego miesięcznego zapotrzebowania na wodę w latach 2001-2013 przedstawia tabela 1. W miesiącach zimowych, wczesnowiosennych i jesiennych wartości obliczonego współczynnika korelacji są na ogół mniejsze co do wartości bezwzględnej niż w miesiącach późnowiosennych i letnich. Biorąc to pod uwagę w dalszych analizach uwzględniono szczególnie wpływ warunków meteorologicznych na zużycie wody w sezonie 2.

Wyróżniony sezon drugi charakteryzuje się najsilniejszymi zależnościami miesięcznego zapotrzebowania na wodę z warunkami pogodowymi, co potwierdza wcześniejsze wyniki. Wzrost zachmurzenia, opadów i wilgotności powietrza powoduje spadek zapotrzebowania na wodę. Najsilniejszą korelację wymienionych parametrów z zużyciem wody odnotowano w czerwcu. Analizując zależność miesięcznego zapotrzebowania na wodę ze średnią miesięczną temperaturą powietrza można stwierdzić, że wskaźnik korelacji Pearsona przyjmuje największą wartość w maju ($r = 0,84$), (tabela 1).

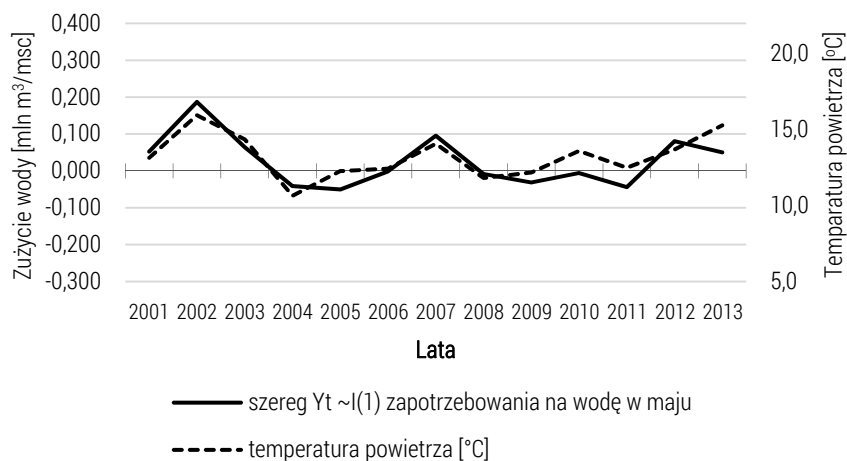
Znaczny wpływ warunków meteorologicznych na zużycie wody w sezonie 2 scharakteryzowano na przykładzie maja (rysunek 3 i 4). W miesiącu tym odnotowano największą zależność zapotrzebowania na wodę z temperaturą powietrza. Wzrost średniej temperatury powietrza w maju powoduje zauważalny wzrost zapotrzebowania na wodę. Największy wzrost zużycia wody nastąpił w maju w 2002 roku. W tym też roku średnia miesięczna temperatura była największa na przestrzeni analizowanych 13 lat i wynosiła około 16°C. Wyraźnie widać sprzężenie pomiędzy temperaturą powietrza i zużyciem wody, co potwierdza poniższy wykres (rysunek 3).

¹¹ Dane pozyskano strony internetowej www.ogimet.com [10-07-2015].

Tabela 1. Wskaźnik korelacji parametrów meteorologicznych z zintegrowanym szeregiem ($Y_t \sim I(1)$) średniego miesięcznego zużycia wody w latach 2001-2013

Wyszczególnienie		Temperatura [C]	Wilgotność [%]	Opady [mm]	Zachmurzenie [oktany]
Sezon 1	styczeń	-0,33	-0,12	-0,55	-0,13
	luty	-0,55	0,27	-0,43	0,21
	marzec	-0,04	-0,39	-0,53	-0,21
	kwiecień	0,23	-0,25	-0,34	-0,47
Sezon 2	maj	0,84	-0,34	-0,61	-0,71
	czerwiec	0,24	-0,76	-0,61	-0,70
	lipiec	0,66	-0,60	-0,54	-0,73
	sierpień	0,47	-0,63	-0,84	-0,60
Sezon 3	wrzesień	0,58	0,31	-0,15	-0,17
	październik	0,11	0,48	-0,40	0,04
	listopad	-0,37	-0,16	0,00	0,06
	grudzień	-0,45	-0,54	-0,06	0,23

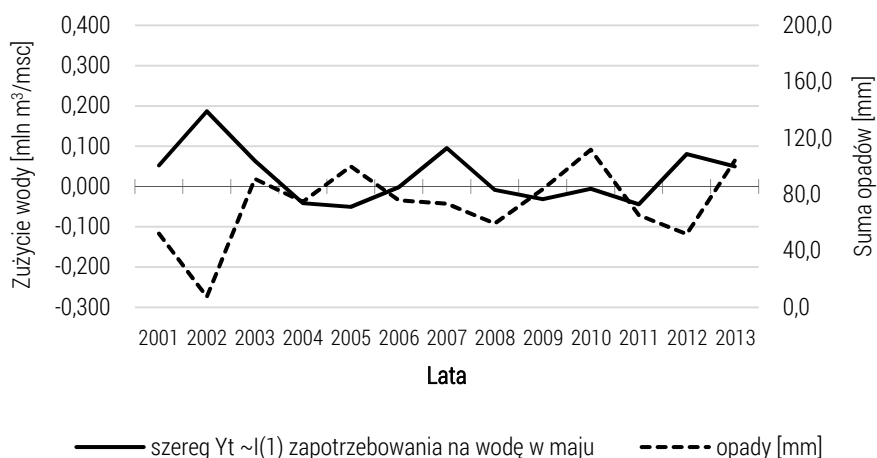
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Wodociągów Białostockich.



Rysunek 3. Szereg zapotrzebowania na wodę $Y_t \sim I(1)$ oraz średnia miesięczna temperatura w maju w latach 2001-2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Wodociągów Białostockich i www.ogimet.com.

W maju, oprócz temperatury powietrza, istotny wpływ na wielkość zużycia wody mają również opady. Współczynnik korelacji pomiędzy tymi zmiennymi osiąga poziom $-0,61$. Minimalną wielkość opadów na przestrzeni analizowanego okresu odnotowano w 2002 roku (rysunek 4). W tym też roku stwierdzono największy wzrost zapotrzebowania na wodę ($0,187$ mln m^3) względem roku poprzedniego. Warto podkreślić, że rok 2002 odznaczał się ekstremalnie małymi opadami i wysoką temperaturą powietrza, co przełożyło się na zdecydowanie największe miesięczne zapotrzebowanie na wodę w 2002 roku. Rysunek 4 potwierdza spadek zużycia wody podczas występowania zwiększonych opadów.



Rysunek 4. Szereg zapotrzebowania na wodę $Y_t \sim I(1)$ oraz suma opadów w maju w latach 2001-2013

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Wodociągów Białostockich i www.ogimet.com

Jak wynika z powyższych rozważań, warunki meteorologiczne mają istotny wpływ na wielkość zużycia wody w miesiącach od maja do sierpnia, czyli sezonie 2, charakteryzującym się największym zapotrzebowaniem na wodę oraz jednocześnie największą zmiennością badanego procesu. Na podstawie powyższych analiz można wnioskować, iż przy budowie modelu miesięcznego zapotrzebowania na wodę, włączenie zmiennych meteorologicznych jest szczególnie wskazane w przypadku sezonu drugiego.

Model miesięcznego zapotrzebowania na wodę

Zgodnie z powyższymi rozważaniami, w ciągu całego roku na wielkość zapotrzebowania na wodę wpływa utrzymująca się od wielu lat tendencja malejąca zużycia wody, będąca w znacznym stopniu objaśniana przez wzrost ceny za wodę, natomiast od maja do sierpnia występują ponadto wahania sezonowe i przypadkowe większe niż w pozostałych miesiącach (rysunek 1). Mając na uwadze wcześniejsze rozważania dotyczące podziału poszczególnych miesięcy na trzy charakterystyczne sezony, podjęto próbę opisanie tych okresów oddzielnymi modelami. Uwzględniając udział procentowy poszczególnych składowych systematycznych w wyróżnionych sezonach uznano, że ze względu na niewielki udział sezonowości oraz wahań przypadkowych w sezonie 1 i 3 wystarczające będzie opisanie miesięcy od stycznia do kwietnia oraz od września do grudnia jednym modelem liniowym uwzględniającym jedynie cenę za wodę i odprowadzanie ścieków, jako zmienną objaśniającą. Wprowadzenie czynników meteorologicznych jest uzasadnione jedynie w przypadku okresu drugiego (miesiące V-VIII). Wykorzystując Klasyczną Metodę Najmniejszych Kwadratów (KMNK) oszacowano następujący model liniowy dla sezonów 1 i 3:

$$Y = 1,762 - 0,1822 X_1 \\ (0,0195) (0,00786)$$

gdzie:

X_1 – cena za wodę i odprowadzanie ścieków [zł/m³].

Z powyższego równania wynika, że w miesiącach od września do kwietnia wraz ze wzrostem ceny wodę o 1 zł/m³ następuje spadek miesięcznego zapotrzebowania na wodę o 0,1822 mln m³. Powyższy model opisuje 85,04% zmienności zapotrzebowania na wodę we wskazanych miesiącach w badanym okresie. Wszystkie uzyskane parametry strukturalne są istotne statystycznie. Błędy szacowania są niewielkie i wynoszą w przypadku wyrazu wolnego 1,1% wartości parametru strukturalnego, natomiast w przypadku parametru przy zmiennej X_1 – 4,3%.

Rozważano również oddzielnie modele dla okresu 1 i 3, które charakteryzowały się podobnym dopasowaniem do danych rzeczywistych. Współczynnik determinacji dla okresu 1 ($Y = 1,786 - 0,1893 X_1$) wynosi $R^2 = 85,45\%$, natomiast dla okresu 3 ($Y = 1,729 - 0,1720 X_1$) to $R^2 = 83,04\%$. W badaniach przeprowadzonych w niniejszej pracy rozpatrywano również modele tendencji rozwojowej. Z uwagi na dość sukcesywny charakter wzrostu ceny za wodę i odprowadzanie ścieków w czasie uzyskano zbliżone wyniki.

W badaniach dotyczących sezonu drugiego rozważano różne postaci modeli ekonometrycznych oraz różny zakres czynników zewnętrznych. Najlepsze dopasowanie wartości teoretycznych do danych rzeczywistych oraz najmniejsze błędy szacunku parametrów otrzymano w przypadku aproksymacji funkcją liniową, wykorzystując KMNK, każdego z miesięcy od maja do sierpnia za pomocą oddzielnego modelu. Otrzymane parametry oraz błędy szacunku dla poszczególnych miesięcy przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Zestawienie parametrów strukturalnych modeli ekonometrycznych dla poszczególnych miesięcy

Zmienna	Maj		Czerwiec		Lipiec		Sierpień	
	b	bł. z b	b	bł. z b	b	bł. z b	b	bł. z b
Wyraz wolny	1,4796	0,1189	1,9134	0,0646	1,0973	0,1199	1,0275	0,2607
Cena X_1	-0,1818	0,0253	-0,1763	0,0007	-0,1687	0,0170	-0,1929	0,0253
Temperatura X_2	0,0344	0,0082	-	-	0,0383	0,0055	0,0486	0,1295
Opady X_3	-0,0017	0,0005	-0,0008	0,0285	-0,0006	0,0002	-0,0009	0,0003
R^2	0,9280		0,8660		0,9703		0,9374	

gdzie: b – wartość parametru strukturalnego; bł. z b – błąd standardowy estymacji oszacowanego parametru strukturalnego

Uwzględniając powyższe wyniki, modele liniowe dla poszczególnych miesięcy przyjmują następujące postaci:

$$\text{MAJ: } Y = 1,4796 - 0,1818 X_1 + 0,0344 X_2 - 0,0017 X_3$$

$$\text{CZERWIEC: } Y = 1,9134 - 0,1763 X_1 - 0,0008 X_3$$

$$\text{LIPIEC: } Y = 1,0973 - 0,1687 X_1 + 0,0383 X_2 - 0,0006 X_3$$

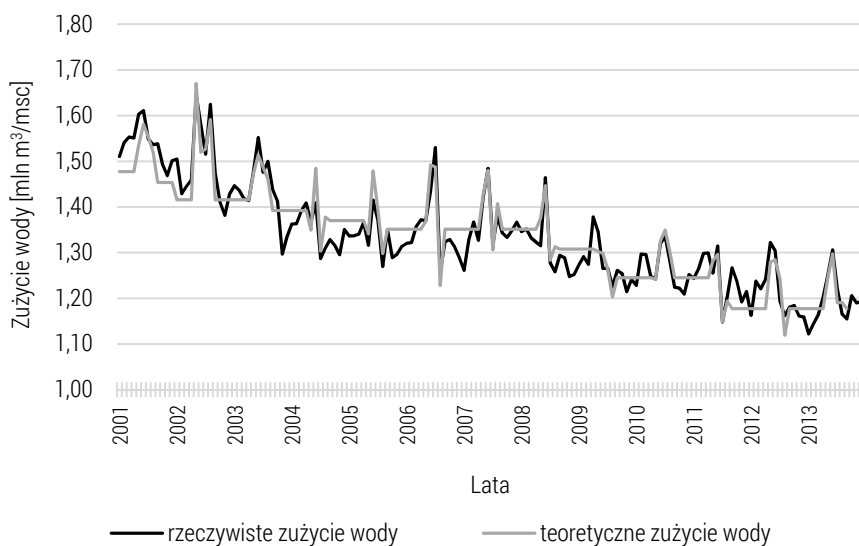
$$\text{SIERPIEŃ: } Y = 1,0275 - 0,1929 X_1 + 0,0486 X_2 - 0,0009 X_3$$

Wszystkie otrzymane parametry strukturalnie modeli liniowych są istotne statystycznie na przyjętym poziomie ufności $\alpha=0,10$. W przypadku czerwca ze względu na duży błąd estymacji parametru (68,13% wartości parametru strukturalnego) przy zmiennej X_2 , opisującej temperaturę powietrza, w modelu wykorzystano tylko zmienność ceny za wodę oraz miesięcznej sumy opadów. Słuszność usunięcia zmiennej X_2 z modelu potwierdza ponadto niewielka różnica (około 0,025) współczynnika determinacji dla obu analizowanych modeli ekonometrycznych.

Z analizy wartości otrzymanych parametrów strukturalnych (tabela 2) wynika, że wraz ze wzrostem ceny za wodę następuje spadek zużycia wody w przedziale od 0,1687 do 0,1929 mln m^3 /msc. W przypadku temperatury powietrza, jej wzrost ma dodatni wpływ na zapotrzebowanie na wodę i naj-

silniej zaznacza się on w sierpniu ($b=0,0486$). Natomiast zdecydowanie największe oddziaływanie zmienności sumy opadów występuje w maju. Parametr strukturalny na poziomie 0,0017 informuje, że wraz ze wzrostem opadów o 1 mm następuje spadek zużycia wody o 0,0017 mln m^3 /msc. Wskaźnik ten jest blisko dwukrotnie większy niż w pozostałych miesiącach. Weryfikacja merytoryczna otrzymanych parametrów modeli ekonometrycznych wskazuje, iż są one zgodne z wiedzą ogólną. O poprawności uzyskanych równań regresji wielorakiej świadczy ponadto zgodność znaków parametrów ze współczynnikami korelacji Pearsona, co stanowi podstawę do stwierdzenia koincydencyjności modeli.

Analizując uzyskane wartości współczynnika determinacji (tabela 2) można uznać, iż wszystkie oszacowane modele charakteryzuje wysokie dopasowanie do danych empirycznych. Model liniowy opisujący zmiany zapotrzebowania na wodę w lipcu z uwzględnieniem trzech zmiennych egzogenicznych (ceny za wodę, temperatury powietrza, opadów) objaśnia 97,03% zmienności badanego procesu w tym miesiącu. W maju i sierpniu współczynnik R^2 wynosi około 93%, natomiast najmniejszą wartość tej charakterystyki odnotowano w czerwcu ($R^2=0,8660\%$). Dopasowanie danych teoretycznych do wartości empirycznych przedstawia rysunek 5.



Rysunek 5. Rzeczywiste oraz teoretyczne wartości zapotrzebowania na wodę

W badaniach rozważano także sezonowy model miesięcznego zapotrzebowania na wodę uwzględniający wszystkie miesiące w latach 2001-2013 (156 obserwacji). Oszacowano model ze stałymi sezonowymi opisanymi

jako zmienne zero-jedynkowe (Z_1, Z_2, Z_3), a także trzema zmiennymi egzogenicznymi: ceną wody (X_1), temperaturą powietrza (X_2) oraz opadami (X_3). Otrzymano model objaśniający 84,77% zmienności zmiennej objaśnianej. Wszystkie oszacowane parametry strukturalne modelu zmodyfikowanego były istotne statystycznie, aczkolwiek przy zmiennych sezonowych odnotowano stosunkowo duży błąd estymacji. Podobną analizę przeprowadzono również dla modelu sezonowego liniowego nieuwzględniającego zmiennych zewnętrznych X_1, X_2 i X_3 . Model oszacowany Uogólnioną Metodą Najmniejszych Kwadratów (UMNK) objaśnia 79,88%, zatem eliminacja trzech zmiennych objaśniających spowodowała zmniejszenie wskaźnika determinacji o blisko 0,05.

Podsumowanie

Reasumując powyższe rozważania dotyczące modelowania miesięcznego zapotrzebowania na wodę w Białymstoku uznano, że najlepszym rozwiązaniem matematycznego opisu badanego procesu jest połączenie pięciu funkcji liniowych, czyli model liniowy łącznie dla sezonu 1 i 3 oraz cztery funkcje liniowej dla poszczególnych miesięcy sezonu 2 (maj – sierpień). Zgodnie z powyższymi analizami, wprowadzenie zmiennych meteorologicznych, czyli miesięcznej sumy opadów oraz temperatury powietrza uzasadnione jest tylko w okresie od maja do sierpnia, a w pozostałych miesiącach zdecydowanie dominuje tendencja malejąca podyktowana w znacznej mierze rosnącą ceną za wodę i odprowadzanie ścieków.

Otrzymane modele liniowe charakteryzują się dużym dopasowaniem wartości teoretycznych do danych rzeczywistych. Wszystkie otrzymane funkcje liniowe odznaczają się współczynnikiem determinacji przekraczającym 85%. Najmniejszą wartość R^2 (85,45%) otrzymano w przypadku modelu opisującego zużycie wody w miesiącach jesiennych i zimowych. Przyczyną może być uwzględnienie jedynie czynnika ekonomicznego – ceny za wodę. Na blisko 15% zmienności analizowanego procesu nie wyjaśnionej przez model może wpływać wiele różnych czynników, między innymi wzrost stopnia opomiarowania poboru wody czy zmniejszenie awaryjności sieci wodociągowej.

Analiza zmienności rozbiorów wody w systemach wodociągowych prowadząca do wychwycenia relacji i prawidłowości warunkujących badany proces pozwoliła na matematyczny opis miesięcznego zapotrzebowania na wodę. Uzyskane modele mogą następnie posłużyć do prognozowania zużycia wody na analizowanym obszarze, co jest istotnym zagadnieniem w świetle optymalizacji sterowania szeroko pojętymi procesami zaopatrzenia w wodę.

Badania wykonano w ramach pracy własnej W/WBiŚ/8/2015 „Modelowanie zapotrzebowania na wodę na wybranym obszarze”.

Literatura

- Adamowski J. i in., *Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network and wavelet artificial neural network for urban water demand forecasting in Montreal Canada*, "Water Resources Research" 2012 nr 48, s. 1-14
- Hotłoś H., *Analiza wpływu czynników meteorologicznych na zmienność poboru wody w miejskim systemie wodociągowym*, „Ochrona Środowiska” 2013 nr 2, s. 57-61
- Kłós L., *Dostępność do wody jako jeden z obszarów realizacji Milenijnych Celów Rozwoju*, „Ekonomia i Środowisko” 2014 nr 3(50), s. 167-175
- Kolendo M., *Zmienność zapotrzebowania na wodę w systemie wodociągowym Białegostoku*, w: A. Dzięgielewski, D. Szychowski, J. Wernik (red.), *Wybrane problemy techniki*, Płock 2015
- Siwoń Z., Cieżak W., Cieżak J., *Analiza i prognozowanie szeregów czasowych krótkotrwałego poboru wody*, „INSTAL” 2006 nr 2, s. 44-49
- Thier A., *Aksjologiczne, ekonomiczne i społeczne problemy gospodarki wodnej*, „Ekonomia i Środowisko” 2015 nr 3(54), s. 10-24
- Trębicka A., *Modelowanie i prognozowanie systemów związanych z dystrybucją wody*, „Ekonomia i Środowisko” 2013 nr 4(47), s. 245-254
- Tuz P.K., Gwoździej-Mazur J., Barbarczyk K., *Wybrane aspekty prognozowania zużycia wody w budownictwie wielorodzinnym*, „INSTAL” 2003 nr 5, s. 40-43
- www.ogimet.com
- Yasar A., Bilgili M., Simsek E., *Water Demand Forecasting Based on Stepwise Multiple Nonlinear Regression Analysis*, "Arabian Journal of Science and Engineering" 2012 nr 37, s. 2333-2341
- Zimoch I., Szymura E., *Klasyfikacja stref systemu dystrybucji wody według wskaźników strat wody i awaryjności sieci*, „INSTAL” 2013 nr 7/8, s. 64-68