



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**BADANIA OPERACYJNE I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE,
PRZESTRZEŃ, OPTYMALIZACJA**

**Olgierd Hryniewicz,
Andrzej Straszak,
Jan Studziński
red.**



**BADANIA OPERACYJNE
I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE, PRZE-
STRZEŃ, OPTIMALIZACJA**

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH • POLSKA AKADEMIA NAUK

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 63

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2008

Olgierd Hryniewicz, Andrzej Straszak, Jan Studziński

**BADANIA OPERACYJNE I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE, PRZESTRZEŃ,
OPTYMALIZACJA**

Publikacja była opiniowana do druku przez zespół recenzentów, którego skład podano w treści tomu

Opinie, wyrażone przez autorów w pracach, zawartych w niniejszym tomie, nie są oficjalnymi opiniami Instytutu Badań Systemowych PAN, ani Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych.

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN & Polskie Towarzystwo Badań Operacyjnych i Systemowych
Warszawa 2008

ISBN 83-894-7519-7
EAN 9788389475190

Redakcja i opracowanie techniczne: Jan W. Owskiński, Aneta M. Pielak, Anna Gostyńska

**Lista recenzentów
artykułów, wchodzących w skład tomów serii „Badania Systemowe”
związanych z konferencją BOS 2008**

Dr Paweł Bartoszczuk
Dr inż. Lucyna Bogdan
Dr hab. inż. Zbigniew Buchalski
Mgr inż. Hanna Bury
Prof. dr hab. Marian Chudy
Dr Jan Gadomski
Mgr Grażyna Grabowska
Mgr inż. Andrzej Jakubowski
Dr hab. inż. Ignacy Kaliszewski
Dr Andrzej Kałużko
Dr hab. Leszek Klukowski
Dr hab. inż. Wiesław Krajewski
Dr inż. Lech Kruś
Dr hab. inż. Marek Libura
Dr Barbara Maźbic-Kulma
Dr inż. Edward Michalewski
Dr inż. Jan W. Owiński
Dr inż. Grażyna Petriczek
Dr inż. Henryk Potrzebowski
Dr Maciej Romaniuk
Prof. dr hab. Piotr Sienkiewicz
Dr hab. Henryk Spustek
Prof. dr hab. Andrzej Straszak
Dr hab. inż. Jan Studziński
Prof. dr hab. Tomasz Szapiro
Mgr Anna Szediw
Dr inż. Grażyna Szkatuła
Dr hab. inż. Tadeusz Witkowski
Dr Irena Woroniecka-Leciejewicz
Dr hab. Sławomir Zadrozny
Dr inż. Andrzej Ziółkowski

**Komitety Konferencji
Badania Operacyjne i Systemowe 2008
Rembertów, Akademia Obrony Narodowej**

Patronat honorowy

Bogdan Klich, Minister Obrony Narodowej
Maciej Nowicki, Minister Środowiska i Zasobów Naturalnych

Komitet Sterujący

Janusz Kacprzyk, Prezes Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych
Olgierd Hryniewicz, Dyrektor Instytutu Badań Systemowych
Janusz Kręcikij, Komendant Akademii Obrony Narodowej

Komitet Programowy

Piotr Sienkiewicz, *Przewodniczący*
Jacek Mercik, *Wiceprzewodniczący*

<i>Tomasz Ambroziak</i>	<i>Ryszard Budziński</i>	<i>Wojciech Cellary</i>
<i>Marian Chudy</i>	<i>Ludostaw Drelichowski</i>	<i>Jerzy Hołubiec</i>
<i>Olgierd Hryniewicz</i>	<i>Adam A. Janiak</i>	<i>Jerzy Józefczyk</i>
<i>Ignacy Kaliszewski</i>	<i>Józef Korbicz</i>	<i>Maciej Krawczak</i>
<i>Piotr Kulczycki</i>	<i>Małgorzata Łatuszyńska</i>	<i>Marek J. Malarski</i>
<i>Barbara Mażbic-Kulma</i>	<i>Zbigniew Nahorski</i>	<i>Andrzej Najgebauer</i>
<i>Włodzimierz Ogryczak</i>	<i>Wojciech Olejniczak</i>	<i>Jan W. Owsiański</i>
<i>Andrzej Piegat</i>	<i>Krzysztof Santarek</i>	<i>Roman Słowiński</i>
<i>Honorata Sosnowska</i>	<i>Henryk Spustek</i>	<i>Jan Stachowicz</i>
<i>Andrzej Straszak</i>	<i>Tomasz Szapiro</i>	<i>Andrzej Szymonik</i>
<i>Ryszard Tadeusiewicz</i>	<i>Eugeniusz Toczyłowski</i>	<i>Tadeusz Trzaskalik</i>
<i>Jan Węglarz</i>	<i>Tadeusz Witkowski</i>	<i>Stanisław Zajas</i>
	<i>Bogdan Zdrowski</i>	

Komitet Organizacyjny

Jan W. Owsiański, Andrzej Kałużko, Mieczysław Pelc, Zbigniew Piątek

Sekretariat

Krystyna Warzywoda, Monika Majkut, Aneta M. Pielak, Krzysztof Sep,
Anna Stachowiak, Halina Świeboda, Tadeusz Winiarski

Redakcja wydawnictw

Janusz Kacprzyk, Piotr Sienkiewicz, Andrzej Najgebauer,
Olgierd Hryniewicz, Andrzej Straszak, Jan Studziński,
Jan W. Owsiański, Zbigniew Nahorski, Tomasz Szapiro

Środowisko i jego ochrona

TARYFY OPŁAT ZA WODĘ

Paweł Bartoszczuk

Instytut Badań Systemowych PAN, ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa

Przedmiotem artykułu jest analiza taryf opłat pobieranych przez dostawców wody dla odbiorców w polskich miastach mieszkań, a także ich wpływ na wielkość zużycia wody przez odbiorców. Przez pozyskiwanie wody określa się ujmowanie, uzdatnianie wody, transport i dostarczanie jej odbiorcom. Do miejskich odbiorców wody należą korzystający z sieci wodociągowej mieszkańcy tych miast, przemysł oraz zakłady użyteczności publicznej. Celem pracy jest przedstawienie ilościowych zależności między jednostkowym kosztem pozyskiwania wody a wielkością produkcji, sprzedaży wody oraz taryfami opłat za wodę wodociągową. Tak sformułowany cel pracy pozwala precyzyjnie określić istniejące ekonomiczne relacje wśród zmiennych stosowanych do opisu kosztowych aspektów gospodarki wodnej na terenie gmin miejskich.

1. Wprowadzenie

Zjawisko spadku zużycia wody można ocenić pozytywnie, gdyż wiąże się z racjonalnym gospodarowaniem wodą. Zasoby wody w Polsce są małe a ponadto są nierównomiernie rozmieszczone. Średnio zasoby te wynoszą około 1600 m³ na mieszkańca, podobnie jak w Egipcie. Ze względu na nierówne rozmieszczenie zasobów i ich sezonowe zmiany, obszary deficytów wody zwiększają się.

Spadek zużycia wody wystąpił we wszystkich grupach odbiorców wody. Na spadek zużycia wody w miastach złożyły się różne czynniki. Po pierwsze został zahamowany wzrost liczby ludności w miastach wyposażonych w wodociąg. Standard wyposażenia mieszkań w instalacje wodociągowe i kanalizacyjne uległ znacznej poprawie. Ponadto zmniejszyło się marnotrawstwo wody. Powszechne stosowanie urządzeń wodoszczędnych przyczyniło się do racjonalnego zużywania wody.

Przed 1990 rokiem zużycie wody w Polsce było wysokie ze względu na niskie, subsydiowane ceny. Ministerstwo Budownictwa zdecydowało w 1992 roku, że każde mieszkanie w bloku powinno być wyposażone w wodomierze¹². Obecnie wodomierze są powszechne, a popyt na wodę spadł o 50% od 1992, do prawie 112 litrów na osobę i dobę w 2003 roku w Gdańsku. Inne dane wskazują na to, że konsumpcja wody spadła w polskich miastach z 200 l/osobę i dzień w 1990 roku do 141,7 l/osobę w 1999 (Kłoss-Trębaczkiwicz, Osuch Pajdzińska, Roman, 2000).

¹² Ministerstwo Budownictwa i Gospodarki Przestrzennej wymaga instalowanie wodomierzy w nowych budynkach od 1 I 1992. Instalacja w istniejących budynkach była powszechnym zjawiskiem od połowy lat 1990-ch, częściowo pod presją organizacji konsumenckich i rządu.

Popyt na wodę jest wciąż niestabilny, spadając, około 2% na rok. W 1990 roku ilość wodomierzy była bardzo niska, nawet bloki były pozbawione wodomierzy. Opłaty były oparte na normach zużycia. Dla typowego mieszkania norma wynosiła 7.5 m³ na osobę i miesiąc (240 litrów na osobę i dzień).

W konsekwencji wzrostu taryf i instalacji wodomierzy, przeciętna konsumpcja wody spadła. Ponadto stosowanie opłat za wodę pokrywających koszty działalności usług wodociągowych zmniejszyło zużycie wody. W Gdańsku (475 tys. mieszkańców) spółka wodociągowa zainstalowała 800 wodomierzy. W wyniku opomiarowania zużycia wody i wyższych cen, przeciętna konsumpcja wody zmniejszyła się o 15% w roku, znacznie więcej niż w przeciągu dwóch poprzednich lat, kiedy spadła o 5% (de la Motte, 2005). To doprowadziło do strat w spółce. Był to największy spadek roczny w latach 1992-2003. Od 1992 roku do 2003 zużycie wody zmniejszyło się o 52%. Nikt się nie spodziewał tak znacznego spadku zużycia wody wynikającego z zainstalowania wodomierzy – co prowadziło do zmniejszenia utargów przedsiębiorstwa. Oznacza to, że opłata jednostkowa wzrosła, a udział kosztów stałych zwiększył się. Opłata wzrosła kilka procent w celu skompensowania prywatnemu przedsiębiorstwu wodociągowemu SAUR's strat związanych z tym zjawiskiem.

Negatywnym technicznym aspektem spadku zużycia wody jest redukcja prędkości przepływu w rurach i dłuższy czas jej przebywania. Prowadzi to do sedymentacji osadów i zatykania rur, co prowadzi do konieczności stosowania dezynfekcji, w końcówkach rur.

Obserwowany spadek zużycia wody z miejskich wodociągów przez przemysł wynika ze spadku produkcji w latach 80-tych. Ponadto zmiana w technologii przyczyniły się do racjonalizacji zużycia wody. Coraz powszechniej zaczęto stosować zamknięte obiegi wody i technologie wodoszczędne. Z danych GUS wynika, że maleje zużycie wody na potrzeby przemysłu z ujęć własnych i zakupionych z miejskich wodociągów (Kloss-Trębaczkiwicz, Osuch Pajdzińska, Roman, 2000). W niektórych gałęziach przemysłu na Śląsku zużycie wody spadło nawet o 70%.

Koszty jednostkowe pozyskania wody stanowią podstawę do określania przez gminy (na wniosek przedsiębiorstw pozyskujących wodę) opłat za wodę. Chociaż zużycie wody w latach 90-tych w miastach polskich ciągle malało, indywidualni mieszkańcy płacili za nią coraz więcej (w cenach porównywalnych). Podstawową monografię na temat opłat za wodę i odprowadzanie ścieków opublikował Dziembowski (1962). Autor zawarł w niej wyniki swoich badań oraz syntezę poprzednich prac innych autorów. Problematyka ta była rozwijana w jego dalszych publikacjach (Dziembowski, 1983). Problemem zasad ustalania taryf opłat za wodę zajmował się Roman (1995). Czynniki wpływające na wysokość kosztów pozyskania wody wodociągowej badał Bylka (1994). Zużyciem wody zajmował się Suligowski (1997). Ze względu na trudności w pozyskiwaniu aktualnych danych niektórzy autorzy opierali się na szacunkach (Szelągowski, 1985).

Na wysokość taryf opłat za wodę wpływały uwarunkowania prawno - organizacyjne przedsiębiorstw wodociągowych. Przed 1990 r. nadzór nad gospodarczym wykorzystaniem i użytkowaniem zasobów wodnych sprawowały organy administracji rządowej. Zgodnie z ustawą z 1990 r. o samorządzie terytorialnym zadania związane z produkcją i dostawą wody zostały przekazane gminom. Decydenci podejmujący decyzje o podwyżkach opłat kierują się innymi przesłankami niż ekonomiczne czy też ekologiczne (ochrona zasobów wodnych). Radni nie dyskutują czy przedkładane w kalkulacji planowane koszty eksploatacji wodociągów są uzasadnione, ale czy proponowana podwyżka to istotne dodatkowe obciążenie gospodarstw domowych (Byłka, 1994), zwłaszcza w relacji do innych uciążliwych podwyżek oraz realnych dochodów gospodarstw. Rady gminne nie wprowadzając podwyżek opłat, odkładają na przyszłość konieczne remonty i modernizacje, co skutkuje pogorszeniem się stanu eksploatowanego majątku trwałego. Woda i ścieki rozliczane są w oparciu o taryfę opłat. Przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne określa taryfę na podstawie niezbędnych przychodów.

Pojęcie "niezbędne przychody", to zdaniem ustawodawcy wartość przychodów, które przedsiębiorstwo powinno osiągnąć na pokrycie uzasadnionych kosztów, związanych z ujęciem i poborem wody, eksploatacją, utrzymaniem i rozbudową urządzeń wodociągowych i urządzeń kanalizacyjnych oraz osiągnięcie zysku. Ceny i stawki opłat określone w taryfie są zróżnicowane w zależności od kategorii odbiorców usług na podstawie różnic kosztów zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków. Rada gminy może dopłacić dla wybranych grup odbiorców usług. Dopłatę gmina przekazuje bezpośrednio przedsiębiorstwu wodociągowo-kanalizacyjnemu. Taryfy podlegają zatwierdzeniu w drodze uchwały rady gminy. Rada gmin nie może odmówić zatwierdzenia taryf za wodę i ścieki chyba, że taryfa narusza prawo. Jeżeli przygotowano ją prawidłowo, a rada jej nie zatwierdziła, wojewoda może stwierdzić nieważności takiej uchwały, a taryfa wejdzie w życie.

Polska musiała spełnić ostre kryteria jakości wody wodociągowej Unii Europejskiej. W związku z tym konieczne były działania polegające na poprawie funkcjonowania procesów pozyskiwania wody, co pociągnęło za sobą wzrost kosztów. Dlatego też w wielu przedsiębiorstwach konieczne były podwyżki opłat.

2. Cel pracy i metodyka

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie hipotezy, która brzmi: „oszczędzanie wody wodociągowej prowadzi do ciągu następujących zdarzeń: wzrostu kosztów jednostkowych pozyskania wody wodociągowej, co skutkuje wzrostem opłat za wodę; to zaś powoduje ponowne zmniejszenie zużycia wody przez konsumentów oraz implikuje spadek sprzedaży i produkcji wody prowadzący, w warunkach znacznie niewykorzystanej zdolności produkcyjnej zakładów wodociągowych, do ponownego wzrostu kosztów jednostkowych pozyskania wody wodociągowej”.

W celu przedyskutowania tej hipotezy zastosowano metodę badawczą, polegającą na modelowej analizie procesu tworzenia ciągu kolejnych wartości opłaty jednostkowej za wodę. Modelowa koncepcja kosztów i opłat jednostkowych za wodę wodociągową opiera się na wyróżnionych parametrach techniczno-ekonomicznych układu wodociągowego, takich jak: sprzedaż wody, produkcja wody, wartość majątku trwałego. W koncepcji tej użyto następujących narzędzi ilościowej analizy procesu kształtowania się jednostkowych kosztów pozyskania wody oraz opłat za wodę: kryteriów zbieżności ciągu kolejnych przybliżeń rozwiązań rekurencyjnych równań modelowych o zmiennych będących parametrami techniczno - ekonomicznymi układu wodociągowego oraz teorii ciągów rekurencyjnych (w szczególności analizy warunków zbieżności tych ciągów), a także elementów analizy matematycznej.

Skonstruowane równania modelowe opisują proces generowania wartości zmiennej „sprzedaż wody przez zakład wodociągowy” (y_t) jako funkcji opłaty jednostkowej pobieranej za wodę wodociągową od odbiorców (x_t), następnie zmiennej „produkcja wody” (p_t) zależnej od sprzedaży wody, potem kosztu jednostkowego (z_t) jako funkcji produkcji wody oraz opłaty jednostkowej w przyszłym okresie (x_{t+1}) zależnej od kosztu jednostkowego pozyskania wody w bieżącym czasie (z_t) (Rys 1). Równania modelowe postuluujemy w postaci:

$$y_t = f(x_t) \quad (1)$$

$$p_t = g(y_t) \quad (2)$$

$$z_t = h(p_t) \quad (3)$$

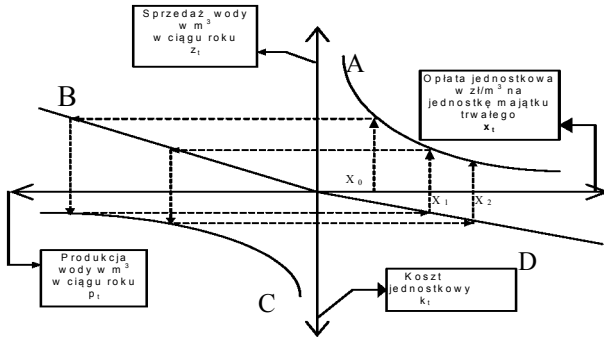
$$x_{t+1} = l(z_t) = h(g(f(x_t))) \quad (4)$$

Funkcje f , l , p , z mają następujące własności:

f , z ciągle, ściśle wklęsłe, odwzorowują przedział $R_+ \cup \{0\} \longrightarrow R_+ \cup \{0\}$

l , p , ciągle, wypukłe, odwzorowują przedział $R_+ \cup \{0\} \longrightarrow R_+ \cup \{0\}$.

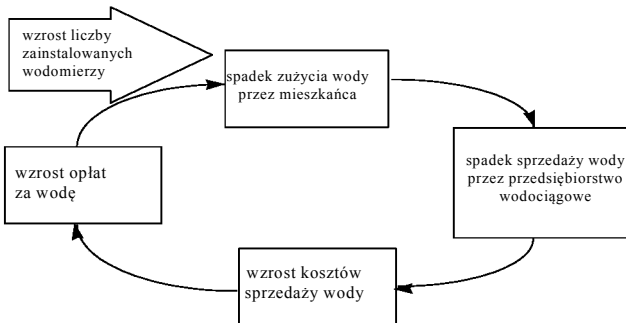
Niech opłata początkowa wynosi x_0 . Przy opłacie tej (przeliczonej na jednostkę majątku trwałego, sprzedaż będzie wynosiła y_0 , co można odczytać z krzywej „A”. Postępując w podany sposób znajdujemy produkcję, koszt jednostkowy i opłatę w przyszłym okresie x_1 (por. Rys 1).



Rys. 1. Graficzne przedstawienie zależności modelowych (1)-(4) pomiędzy sprzedażą, produkcją, kosztem jednostkowym i opłatą jednostkową za wodę wodociągową

Otrzymana w ten sposób opłata jednostkowa może być mniejsza lub większa od początkowej opłaty jednostkowej (ewentualnie może być jej równa). Wielkość opłaty jednostkowej x_1 w stosunku do opłaty x_0 zależy od postaci krzywych A-D oraz położenia punktu x_0 .

Proces można kontynuować (Rys 2). Dla $t \geq 1$, opłacie jednostkowej x_t będzie odpowiadała sprzedaż y_t , produkcja p_t , koszt jednostkowy z_t oraz opłata jednostkowa x_t . Tak więc opłacie jednostkowej x_t będzie odpowiadała opłata jednostkowa x_{t+1} .



Rys. 2. Ciąg zdarzeń wywołanych spadkiem zużycia wody wodociągowej i wzrostem opłat za wodę wodociągową (spowodowanych przez wzrost liczby wodomierzy)

Poprzez eliminację zmiennych sprzedaż, produkcja, koszt jednostkowy (y_t , p_t , z_t) z równań modelowych otrzymujemy związek rekurencyjny opłata dla okresu $t+1$ w funkcji opłaty w okresie t .

$$x_{t+1} = F(x_t), \quad (5)$$

gdzie $t \in \{1, 2, 3, \dots\}$.

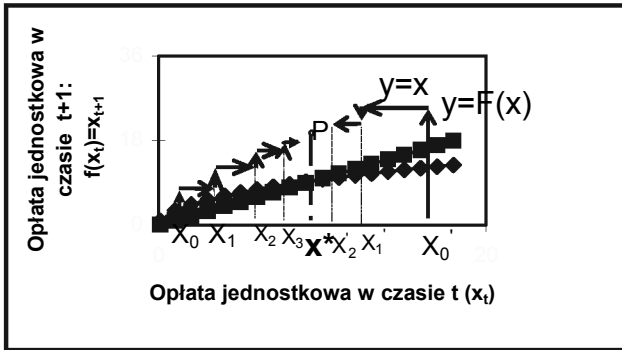
Bierzemy pod uwagę pewną liczbę x_0 należącą do dziedziny funkcji $F(x)$, czyli opłatę jednostkową w danym roku (ustaloną w oparciu o koszt jednostkowy pozyskania wody wodociągowej). Argumentom x_t odpowiadają wartości funkcji $F(x_t)$. Podstawiając $t=1$ otrzymujemy $F(x_1)=x_2$, następnie podstawiając $x_t=x_2$ otrzymujemy $F(x_2)=x_3$, i tak dalej.

Zakładamy, że funkcja F spełnia następujące warunki:

- I. funkcja F odwzorowuje przedział $R_+ \cup \{0\} \longrightarrow R_+ \cup \{0\}$
- II. F - funkcja ciągła, różniczkowalna, ściśle wklęsła
- III. $F(0)=0$
- IV. $\lim_{x_t \rightarrow 0^+} F'(0) > 1$, $\lim_{x_t \rightarrow \infty} F'(x_t) = 0$

Ciąg $x_{t+1}=F(x_t)$ jest zatem zbieżny i granicą ciągu x_t jest x^* (por. rys. 3).

Wyraz x_t ciągu (5) nazywamy t -ym przybliżeniem pierwiastka równania $x=F(x)$, zaś sam ciąg nazywamy ciągiem kolejnych przybliżeń. Jeżeli ciąg x_t jest zbieżny do pierwiastka równania $x=F(x)$, to przybliżenie jest dowolnie dokładne, dla odpowiednio wysokiej liczby przybliżeń t .



Rys. 3. Proces tworzenia opłat jednostkowych; schemat ideowy z założonym konkretnym kształtem linii $F(x)$

Dowód zbieżności ciągu x_t opisanego równaniem rekurencyjnym (5), przy warunku x_0 jak niżej (6)

$$0 < x_0 < x^* \tag{6}$$

gdzie $t=0,1,2,3...$

1*. Ciąg x_t jest rosnący.

¹³ x^* jest rozwiązaniem równania $x = F(x)$. Rozwiązanie takie (prócz $x=0$) istnieje tylko jedno. Rzeczywiście, rozważmy funkcję $f(x) = F(x) - x$. Z założeń (1)- (4) wynika, że istnieje takie x^* , że $f(x^*) = F(x^*) - x^* = 0$. Ponieważ $F'(x) > 0$, $F''(x) < 0$, więc istnieje też x takie, że $f(x) = F(x) - x < 0$. W przedziale (x^*, x) istnieje więc punkt x^* , taki, że $f(x^*) = F(x^*) - x^* = 0$, czyli $F(x^*) = x^*$.

Dowód: z rozumowania z przypisu [13] wynika, że w lewostronnym otoczeniu punktu x^* (do którego należy x_0) spełniona jest nierówność:

$$x_1 = F(x_0) > x_0. \quad (7)$$

Załóżmy, że dla pewnego $t \geq 0$ słuszna jest też nierówność $x_{t+1} > x_t$. Z równania rekurencyjnego (ze względu na to, że F jest funkcją rosnącą) i w myśl założenia indukcyjnego wynika, że:

$$x_{t+2} = F(x_{t+1}) > F(x_t) = x_{t+1}, \text{ dla } t \geq 0 \quad (8)$$

Z (7) i (8) wnioskujemy, że dla wszystkich całkowitych $t \geq 0$ zachodzi zależność $x_{t+1} > x_t$ (9)

Nierówność (9) oznacza, że ciąg x_t jest rosnący.

2*. Ciąg x_t jest ograniczony (z góry) przez punkt x^* . Założenie (6) głosi, że $x_0 < x^*$ (10)

Załóżmy, że dla pewnego $t \geq 0$ $x_t < x^*$ (11)

Ponieważ x^* jest dodatnia (jedyne rozwiązaniem równania $F(x^*) = x^*$), więc z monotoniczności funkcji F wynika, że

$$x^* = F(x^*) > F(x_t) = x_{t+1}, \quad (12)$$

czyli $x^* > x_{t+1}$, (13)

Na podstawie zależności (12) - (13) $x_t < x^*$, dla każdego całkowitego $t \geq 0$, co dowodzi ograniczoność ciągu x_t . Proces $x_{t+1} = F(x_t)$ jest zatem zbieżny.

Wykażemy jeszcze, że granicą ciągu x_t jest x^* . Przechodząc do granicy po obu stronach równania (5) mamy (korzystając z ciągłości funkcji F oraz oznaczając $g = \lim_{t \rightarrow \infty} x_t$), że $g = F(g)$. (14)

Ponieważ dodatnie rozwiązanie równania $x = F(x)$. (15)

jest jedyne (równe x^*), wnioskujemy, że: $x^* = g$. (16)

Korzystając z podobnego rozumowania, opartego na teorii ciągów można wykazać, że jeśli $x_0 > x^*$, to proces rekurencyjny (5) z warunkiem początkowym $x_t = x_0$ także jest zbieżny (do x^*).

Dowody zbieżności lub rozbieżności procesu (5) w przypadku innych właściwości funkcji F , niż zapisano powyżej, nie różnią się istotnie od przykładów zamieszczonego rozumowania.

Zbieżność ciągu nie zależy od wyboru punktu startowego x_0 . Podstawiając za x_0 jakąkolwiek liczbę z przedziału $(0, +\infty)$ otrzymamy inny ciąg przybliżeń, zawsze zbieżny do granicy x^* . Jeżeli $x_0 < x^*$, to ciąg kolejnych przybliżeń jest ciągiem rosnącym (jeżeli $F(x)$ jest rosnąca), czyli wartości tego ciągu zwiększają się aż do wartości współrzędnych punktu P . W przeciwnym przypadku jest ciągiem malejącym i ograniczonym z dołu przez odciętą punktu P .

3. Zakres badań i źródła informacji

Dane empiryczne dotyczące opłat i sprzedaży wody zebrano z 45 miast w Polsce. Wśród tych miast 30 podało informacje o kosztach jednostkowych, wielkości majątku oraz produkcji (por. załącznik 1). Miasta te dostarczają ponad 710 mln m^3 wody rocznie, co stanowi 30% wody dostarczanej mieszkańcom Polski. Pełne dane uzyskano z lat 1994 i 1995. Zakłady wodociągowe w tych miastach, mają różną formę organizacyjną, najczęściej spotykaną są przedsiębiorstwa komunalne, spółki z ograniczoną odpowiedzialnością, spółki akcyjne, przedsiębiorstwa prywatne (które w ogóle nie chciały udostępnić danych). Miasta w większości należały do grupy miast dużych (powyżej 200 tys.) oraz z grupy miast o liczbie ludności 100-200 tys., oraz 50-100 tys. mieszkańców. Koszty pozyskania wody przeliczone zostały na $1m^3$ sprzedanej wody oraz na wartość majątku trwałego, aby wyeliminować różnice w technologiach produkcji wody.

W większości miast w Polsce sprzedaż wody nie jest wyższa niż 30 milionów m^3 . Sprzedaż wody w każdym z analizowanych miast wahała się od 0,5 mln m^3 do 184.5 mln m^3 wody. Sprzedaż wody największa ze wszystkich analizowanych miast była w Warszawie. Dużą sprzedaż wody zanotowano także w Krakowie (80 mln m^3 /rok) i w Poznaniu (60 mln m^3 /rok). Średnio polskie przedsiębiorstwa wodociągowe sprzedają 24,5 miliona m^3 na rok.

4. Przykład zastosowania modelu

Przedstawiona w pracy metoda konstruowania równań modelowych wymaga, aby zastosowane zależności ilościowe były stacjonarne. Dostępne dane dotyczyły jedynie kilku lat i nie pozwalają na stwierdzenie, czy tak jest w długim okresie. W celu zaprezentowania działania metody, możemy jednak założyć stacjonarność zależności ilościowych w czasie i zbadać, czy proces kształtowania kosztów pozyskania wody i opłat za wodę jest procesem zbieżnym. Przyjmujemy, że dane w cenach porównywalnych są takie same jak w 1994 roku. Obrazując dane liczbowe nie różniamy miejscowości, z których te dane pochodzą. W zależności od parametrów krzywych doświadczalnych proces zbieżności ciągu opłat (a więc i kosztów) jest procesem zbieżnym lub rozbieżnym.

Taryfy opłat za wodę

Zarówno koszty jednostkowe, jak i opłaty odnosimy do wartości majątku trwałego, eliminując w ten sposób różnice między warunkami lokalnymi pozyskiwania wody w danym mieście, jak również innymi czynnikami, wpływającymi na kapitałochłonność procesów pozyskiwania wody, jak np. różnice w stosowanych technologiach oczyszczania wody, czy w rodzaju pozyskiwanej wody. Dla zaprezentowania metody zmian zbieżności wartości opłat i kosztu jednostkowego potrzebne są wzory funkcji, a w szczególności ewentualnej zbieżności procesu kształtowania się opłat i kosztów jednostkowych (17)-(20):

$$\text{sprzedaż wody: } s=78,829*x^{-0,59} \quad (17)$$

$$\text{produkcja wody: } p=1,133*s+1,884 \quad (18)$$

$$\text{koszt produkcji wody: } k=699,3*p^{-1,2412} \quad (19)$$

$$\text{opłata jednostkowa za wodę: } x=1,599*k^{0,70} \quad (20)$$

Poprzez eliminację zmiennych sprzedaż, produkcja, koszt jednostkowy (y_t , p_t , z_t) z równań modelowych (17) - (20) otrzymujemy związek rekurencyjny:

$$x_{t+1}=3,094*x_t^{0,496}, \quad (21)$$

gdzie x_{t+1} oznacza opłatę dla okresu $t+1$ w funkcji opłaty w okresie t .

Podstawiając za opłatę jednostkową taką opłatę, jaka obowiązywała w przeciętnym mieście wojewódzkim - na przykład w Lublinie - opłata jednostkowa, w przeliczeniu na wartość majątku trwałego wynosiła w 1994 roku $4,867 \text{ zł/m}^3$ obliczamy opłatę w następnym okresie. Jednocześnie w oparciu o znane postacie równań (17) - (20) obliczamy kolejno sprzedaż wody, jej produkcję, koszt jednostkowy wyrażony w jednostkach majątku trwałego. Z obliczeń wynika, że w kolejnych okresach czasu rosną opłaty jednostkowe, a koszt jednostkowy jest wyższy od opłaty jednostkowej (opłata jednostkowa jest ustalana na poziomie niższym od kosztu jednostkowego). Podwyższanie opłat za wodę wodociągową prowadzi do spadku sprzedaży wody, co powoduje wzrost jednostkowego kosztu pozyskania wody.

Proces rekurencyjny (21) z warunkiem początkowym $x_t=x_0$ na mocy warunków (I)-(IV) jest zbieżny do opłaty $x^*=9,47 \text{ zł/m}^3$, której graficznym obrazem jest odcięta punktu, w którym prosta $y=x$ przecina krzywą o równaniu $y=3,094x^{0,496}$. Liczba x^* jest granicą ciągu (21). Opłacie tej odpowiada sprzedaż wody równa $20,9 \text{ mln m}^3$ rocznie, identyczna jak zanotowana w 1995 roku w miastach zamieszkałych przez ponad 100 tysięcy mieszkańców - w Gorzowie lub Kaliszu. Z obliczeń wynika, że wzrost opłaty o 50% powoduje spadek sprzedaży wody o 30% (por. Tabela 1).

Gospodarstwa domowe pod wpływem znacznej podwyżki opłat, spowodowanej wzrostem kosztu jednostkowego pozyskania wody wodociągowej początkowo zmniejszają zużycie wody. Wzrost kosztów jednostkowych następuje wraz ze zmniejszeniem się wykorzystania zdolności produkcyjnej przedsiębiorstw dostarczających wodę. Następnie spadek zużycia jest mniej gwałtowny, gdy wyczerpują się możliwości zastosowania wodooszczędnych urządzeń, uszczelnienia sieci wodociąg-

gowej itp., aż w końcu ulega zahamowaniu. Powoduje to powstrzymanie wzrostu kosztów jednostkowych pozyskania wody, a więc zahamowanie wzrostu opłat za wodę. Część wody, pobierana przez mieszkańców, jest niezbędna do życia i mieszkańcy nie mogą z niej zrezygnować. Potwierdza to przewidziane na podstawie równań empirycznych ustabilizowanie się zużycia wody.

Gdy opłata początkowa jest wyższa od $9,47 \text{ zł/m}^3$, ciąg opłat jest ciągiem malejącym i ograniczonym z dołu przez punkt o współrzędnej $9,47 \text{ zł/m}^3$. Jest to możliwe wskutek wzrostu sprzedaży wody. Zwiększenie zasięgu obsługi odbiorców wody poprzez rozbudowę sieci wodociągowej będzie sprzyjać stopniowemu zwiększaniu ilości zużywanej wody, a w konsekwencji wzrostu sprzedaży wody. Wzrost sprzedaży wody powoduje obniżenie kosztu jednostkowego pozyskania wody. Przewodzi to do możliwości obniżenia opłat za wodę wodociągową (Tabela 2).

Przedstawiona metoda badania zbieżności opłat jednostkowych wymaga jednak, aby zastosowane zależności ilościowe między zmiennymi - kosztem, sprzedażą, produkcją i opłatami jednostkowymi cechowały się stacjonarnością w długim okresie. Na razie nie wiadomo, czy tak jest, gdyż dostępne dane dotyczyły zaledwie kilku lat z lat dziewięćdziesiątych.

Tabela 1. Wartości opłaty jednostkowej w kolejnych latach - przykład dla Lublina przy opłacie mniejszej od opłaty granicznej

T	Opłata za wodę x	Sprzedaż wody $s=78,829*x^{-0,59}$	Produkcja mln m^3 $p.= 1,133*s + 1,884$	koszt jednostkowy $k = 699,3*p^{-1,2412}$	opłata jednostkowa $x(t)= 1,599*k^{0,70}$
1	4,867000	30,98859	36,99407	7,912551	6,863165
2	6,863165	25,30094	30,54996	10,0343	8,112917
3	8,112917	22,92301	27,85577	11,25262	8,794733
4	8,794733	21,85721	26,64821	11,88893	9,142092
5	9,142092	21,36334	26,08866	12,20625	9,313246
6	9,313246	21,13082	25,82522	12,36099	9,396232
7	9,396232	21,02051	25,70024	12,43564	9,436158
8	9,436158	20,96799	25,64073	12,47147	9,455297
9	9,455297	20,94294	25,61235	12,48863	9,464454
10	9,464454	20,93098	25,59800	12,49683	9,468832
11	9,468832	20,92527	25,59233	12,50075	9,470925
12	9,470925	20,92255	25,58924	12,50263	9,471924
13	9,471924	20,92124	25,58777	12,50352	9,472402
14	9,472402	20,92062	25,58706	12,50395	9,47263
15	9,47263	20,92032	25,58673	12,50415	9,472739
16	9,472739	20,92018	25,58656	12,50425	9,472791
17	9,472791	20,92011	25,58649	12,5043	9,472816
18	9,472816	20,92008	25,58645	12,50432	9,472828
19	9,472828	20,92006	25,58643	12,50433	9,472834

Taryfy opłat za wodę

20	9,472834	20,92006	25,58642	12,50434	9,472836
21	9,472836	20,92005	25,58642	12,50434	9,472838
22	9,472838	20,92005	25,58642	12,50434	9,472838
23	9,472838	20,92005	25,58642	12,50434	9,472839
24	9,472839	20,92005	25,58642	12,50434	9,472839
25	9,472839	20,92005	25,58642	12,50434	9,472839
26	9,472839	20,92005	25,58642	12,50434	9,472839
27	9,472839	20,92005	25,58642	12,50434	9,472839

Możemy (dla zaprezentowania działania metody) założyć, że tak jest i przy tym założeniu stwierdzić, że proces wzajemnego dostosowania kosztów jednostkowych, a w konsekwencji opłat za wodę do sprzedaży wody jest procesem zbieżnym. Punkt zbieżności zależy od wzajemnych relacji pomiędzy opłatą jednostkową w przyszłym okresie a kosztem jednostkowym w okresie bieżącym (sposobu ustalania opłat za wodę). Im większa różnica między opłatą jednostkową za wodę a kosztem jednostkowym pozyskania tej wody, tym do wyższej opłaty jednostkowej zbiega ciąg kolejnych przybliżeń. Oznacza to, że ustalenie opłaty jednostkowej na poziomie wyższym od kosztów jednostkowych doprowadzi do większego spadku zużycia wody, niż przy opłatach równych lub mniejszych od kosztu jednostkowego pozyskania wody. Równocześnie zatrzymanie spadku sprzedaży wody będzie wymagać dłuższego czasu. Dlatego też podejmujący decyzję o wysokości opłaty powinni to brać pod uwagę przy ustalaniu tej opłaty.

Tabela 2. Kolejne wartości opłaty jednostkowej w kolejnych latach - przy opłacie większej od opłaty granicznej

T	opłata jednostkowa za wodę $x(t)$	Sprzedaż wody $s=78,829*x^{-0,59}$	Produkcja mln m ³ $p=1,133*s+1,884$	koszt jednostkowy $k=699,3*p^{-1,2412}$	opłata jednostkowa $x(t+1)=1,599*k^{0,70}$
1	30,0000	10,5970	13,8904	26,6897	16,1570
2	16,1570	15,2670	19,1815	17,8800	12,1856
3	12,1856	18,0317	22,3139	14,8194	10,6765
4	10,6765	19,4945	23,9713	13,5584	10,0284
5	10,0284	20,2283	24,8027	12,9966	9,7340
6	9,7340	20,5871	25,2092	12,7370	9,5966
7	9,5966	20,7604	25,4056	12,6149	9,5318
8	9,5318	20,8437	25,4999	12,5570	9,5009
9	9,5009	20,8835	25,5450	12,5295	9,4863
10	9,4862	20,9026	25,5666	12,5163	9,4792
11	9,4792	20,9117	25,5770	12,5101	9,4759
12	9,4759	20,9161	25,5819	12,5071	9,4743
13	9,4743	20,9181	25,5843	12,5056	9,4735
14	9,4735	20,9191	25,5854	12,5050	9,4733
15	9,4732	20,9196	25,5859	12,5046	9,4730

16	9,4730	20,9198	25,5862	12,5045	9,4729
17	9,4729	20,9200	25,5863	12,5044	9,4729
18	9,4729	20,9200	25,5864	12,5044	9,4729
19	9,4729	20,9200	25,5864	12,5044	9,4729
20	9,4729	20,9200	25,5864	12,5043	9,4728

W dużych miastach istnieją większe możliwości oszczędzania wody niż w małych miejscowościach. Mieszkańcy tych miast będą musieli ponosić wyższe opłaty. Im niższa opłata początkowa w przeliczeniu na majątek trwały, tym większy będzie wzrost opłat wywołany gwałtowniejszym spadkiem sprzedaży wody, co wynika z równań modelowych.

Z wymienionych tutaj przyczyn, spadek sprzedaży wody wcale nie jest tak korzystny dla mieszkańców, jak zapewniają niektóre gremia. Poglądy o korzyściach ze zmniejszenia zużycia wody głoszą niektóre biura i firmy, które żyją ze sposobów oszczędzania wody oraz firmy produkujące lub instalujące wodomierze. Spadek zużycia wody prowadzi, co prawda, do spadku jednostkowych kosztów zmiennych, ale równocześnie przyczynia się do wzrostu jednostkowych kosztów stałych. Zmniejszenie zużycia wody o 30%, przy sięgających 90% kosztach stałych prowadzić może jedynie do 3% zmniejszenia kosztów. Trzeba jasno powiedzieć odbiorcom wody, że oszczędności ilościowe zużycia wody będą prowadziły do wyższych kosztów jednostkowych, a w konsekwencji wyższych opłat za wodę.

5. Wnioski

Z przeprowadzonych w pracy obliczeń wynika, że na wzrost lub spadek kosztu jednostkowego pozyskania wody wodociągowej wpływa wielkość sprzedaży wody. Sprzedaż ta zależy od tego, jak duże będzie zużycie wody przez pojedynczych konsumentów. Obecnie zbyt wysokie opłaty skutkują niską sprzedażą wody. Dopiero zahamowanie wzrostu opłat poprzez obniżkę kosztów, czy też sprzedaż wody odbiorcom o wysokiej elastyczności popytu po niższej cenie doprowadzi do zwiększenia się sprzedaży, a w konsekwencji obniżenia się kosztów jednostkowych produkcji wody. Taka możliwość wynika bezpośrednio z wykonanych obliczeń.

Istnieje pewna graniczna wartość opłaty, przy której sprzedaż wody przestaje się zmniejszać. Świadczy to o tym, że możliwości zmniejszenia zużycia wody wyczerpały się. Mieszkańcy potrzebują pewnej ilości wody, z której nie mogą zrezygnować, pomimo wysokiej opłaty pobieranej od nich przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Ograniczenie zużycia wody prowadzi do podwyższenia kosztów jednostkowych jej sprzedaży. Zmniejszenie zużycia wody powoduje też zmniejszenie ilości odprowadzanych ścieków, a więc zmianę ich właściwości. W skrajnym przypadku stwarza to konieczność przebudowy oczyszczalni ścieków, a to z kolei prowadzi do dodatkowych kosztów i wzrostu opłat za odprowadzanie ścieków. Jeżeli zaś nie stać nas będzie na zmianę technologii oczyszczania ścieków, możemy doprowadzić do zanieczyszczenia środowiska niedostatecznie oczyszczonymi ściekami. Tak więc

dochodzimy do paradoksu - ekologiczne działania polegające na oszczędzaniu wody mogą prowadzić do pogorszenia stanu środowiska naturalnego.

Literatura

- Bylka H. (1994) Przyczyny wzrostu oraz możliwości zmniejszenia kosztów dostawy wody i odprowadzenia ścieków. W: *Zaopatrzenie w wodę miast i wsi*, materiały konferencyjne, Poznań.
- Dziembowski Z. (1983) *Ekonomika przedsiębiorstwa komunalnego*. PWE, Warszawa.
- Dziembowski Z. (1962) Problem wyboru systemu taryfowego i metody określania poziomu opłat za wodę i odprowadzanie ścieków. Instytut Gospodarki Komunalnej. *Zeszyty Naukowe*, 3. Warszawa.
- Kłoss-Trębaczewicz H, Osuch Pajdzińska E., Roman M. (2000) Przyczyny spadku zużycia wody w miastach polskich i jego granice. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*.
- de la Motte R. (2005) D20: Water Time case study - Gdańsk, Poland, A research project supported by the European Commission, FP5: Energy, Environment and Sustainable Development? Contract No: EVK4-2002-0095.
- Suligowski Z. (1997) Oszczędzanie wody. *Gaz woda i technika sanitarna*, 1.
- Szelągowski Z. (1985) *Ekonomika gospodarki wodnej*. Warszawa.
- Roman M. (1995) Taryfy opłat za wodę i odprowadzanie ścieków. W: *Konferencja Opłaty za wodę i ścieki w gminie-polityka taryfowa*, Warszawa.

IBS PAN *Konf.*

46003

Bibl. podręczna

**Olgierd Hryniewicz, Andrzej Straszak, Jan Studziński
red.**

**BADANIA OPERACYJNE I SYSTEMOWE:
ŚRODOWISKO NATURALNE, PRZESTRZEŃ,
OPTYMALIZACJA**

Książka składa się z artykułów przedstawiających wyniki prac z dziedziny badań operacyjnych i systemowych, poświęconych środowisku naturalnemu i zarządzaniu nim, zwłaszcza w zakresie ochrony atmosfery, globalnego ocieplenia i walki z nim, jakości i zaopatrzenia w wodę. Tematyka ta jest rozszerzona o aspekty przestrzenne, regionalne i samorządowe, a także planowanie i funkcjonowanie infrastruktury. Tom zamykają prace metodyczne, dostarczające technik, będących podstawą prezentowanych zastosowań.

ISBN 83-894-7519-7

EAN 9788389475190

Instytut Badań Systemowych PAN

tel. (4822) 3810241 / 3810273 e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl