

Karol Kuś, Antoni Olsiński

Koszty eksploatacji stacji uzdatniania wód powierzchniowych

Badaniami objęto cztery największe stacje uzdatniania wód powierzchniowych, pracujące dla wodociągu grupowego Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów w Katowicach, w których stosowany jest proces koagulacji. Dane charakteryzujące wielkości poszczególnych obiektów oraz stosowane urządzenia i technologie uzdatniania zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka analizowanych stacji wodociągowych

Stosowane urządzenia i technologie uzdatniania	Nazwa stacji, średnia wydajność, m ³ /d			
	Będzin 54.000	Strumień 95.000	Kobiernice 265.000	Goczałkowice 530.000
Chlorowanie wstępne	+			
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	+	+	+	+
Szybkie mieszanie		+	+	+
Wolne mieszanie		+		+
Osadniki		+		+
Pulsatory	+			+
Filtry pospieszne	+	+		+
Filtry kontaktowe			+	
Chlorowanie końcowe	+	+	+	+

W trzech stacjach wodociągowych stosowana jest koagulacja objętościowa (Będzin, Strumień, Goczałkowice), a w jednej koagulacja powierzchniowa (Kobiernice). W przypadku Goczałkowic występuje zróżnicowanie urządzeń w ramach dwóch ciągów technologicznych budowanych w różnych okresach: "starego" (S) – pobierającego wodę głównie ze Zbiornika Goczałkowickiego, i nowego" (N) – zasilanego wodą z ujęcia "Czaniec" na Sole oraz ze Zbiornika Goczałkowickiego. Stacja uzdatniania wody w Będzinie, zasilana jest z zasobów wodnych podsystemu Brynicy i Czarnej Przemszy, zaś pozostałe stacje pobierają wodę z podsystemu Małej Wisły (Strumień, Goczałkowice) i Soły (Kobiernice i Goczałkowice).

Badania miały na celu określenie relacji jednostkowych kosztów eksploatacji dla wymienionych stacji w zależności od stosowanych urządzeń i technologii uzdatniania, wielkości stacji oraz jakości ujmowanej wody. Dla każdego z obiektów przeprowadzono analizę uwzględniającą wskaźniki ogólne, a dodatkowo dla największej z rozważanych stacji (Goczałkowice) przedsta-

wiono szczegółowo wpływ zmian jakości ujmowanej wody na relacje pomiędzy składnikami kosztów całkowitych.

Elementy składowe kosztów eksploatacyjnych

Całkowite roczne koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody w układzie ekonomicznym (K_c) stanowią najczęściej sumę następujących elementów:

$$K_c = K_{el} + K_m + K_{pt} + K_r + K_{og} + K_{am} + K_{poz}$$

gdzie:

- K_{el} – koszty energii elektrycznej,
- K_m – koszty materiałów,
- K_{pt} – płace pracowników,
- K_r – koszty remontów kapitalnych i bieżących,
- K_{og} – koszty ogólne,
- K_{am} – koszty amortyzacji na odtworzenie,
- K_{poz} – koszty pozostałe.

Koszty energii elektrycznej wynikają z jej zużycia w całym procesie uzdatniania wody zarówno przez główny ciąg technologiczny jak i pozostałe obiekty stacji, które pośrednio w nim uczestniczą. Ich wahania wynikają ze zmian częstotliwości płukania filtrów, gradientu prędkości mieszania w osadnikach kontaktowych czy komorach flokulacji, wielkości zużycia reagentów, wysokości podnoszenia pomp itp. Koszty materiałów zależą od rodzaju i dawek stosowanych reagentów (koagulantu, flokulantów, środków korekcyjnych, chloru itp.) i wykazują zmienność w czasie powodowaną składem wody surowej oraz wymaganiami stawianymi wodzie uzdatnionej. Płace pracowników stanowią element kosztów eksploatacji i obejmują płace robotników z narzutami na ubezpieczenia społeczne, lecz dotyczą jedynie płac pracowników zatrudnionych bezpośrednio przy produkcji. Koszty remontów kapitalnych i bieżących stanowią ustalony procent wysokości nakładów inwestycyjnych. Koszty ogólne wynikają głównie z kierowania, organizacji i obsługi wydziałów eksploatacyjnych oraz całego przedsiębiorstwa. Składają się na nie koszty wydziałowe i koszty ogólnozakładowe. Koszty amortyzacji na odtworzenie stanowią procent ogólnych nakładów inwestycyjnych określanych na podstawie normatywnych stawek. Koszty pozostałe dotyczą zakupów wody, opłat za szczególne korzystanie z wód, opłat za wywóz nieczystości, opłat za usługi transportowe itp.

Przedstawione składowe kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody umożliwiają dokonanie ich podziału na koszty zmienne, związane z ruchem zakładu, rosnące wraz ze wzrostem produkcji

(ich wartość jest stała w koszcie jednostkowym) oraz koszty stałe, związane z utrzymaniem zdolności produkcyjnych zakładu (ich bezwzględna wartość w koszcie jednostkowym ma charakter malejący).

Zakłady uzdatniania wody charakteryzują się dużym udziałem kosztów stałych (płace, amortyzacja, remonty, zakupy wody, pozostałe koszty technologiczne). Do kosztów zmiennych zalicza się wyłącznie materiały stosowane w uzdatnianiu wody oraz energię elektryczną do napędu pomp i innych urządzeń (bez uwzględniania kosztów oświetlenia obiektów).

Na podstawie materiałów archiwalnych Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów w Katowicach [1], dotyczących kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody w latach 1985+1992, sporządzono tabele 2+4, umożliwiające przeprowadzenie analizy struktury poszczególnych kosztów. Zbiorcze uśrednione dane przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Struktura kosztów eksploatacyjnych stacji uzdatniania wód powierzchniowych w latach 1985 + 1992

Elementy składowe kosztów całkowitych	Struktura kosztów, %			
	Będzin	Strumień	Kobiernice	Goczałkowice
Energia elektryczna	12,33	16,22	24,23	20,75
Materiały	2,17	18,36	5,46	5,36
Razem koszty zmienne	14,50	34,58	29,69	26,11
Płace pracowników	20,04	13,97	13,83	8,77
Remonty kapitalne i bieżące	7,84	7,17	9,10	8,32
Koszty ogólne	30,00	28,06	26,75	24,67
Amortyzacja i odtworzenie	8,84	7,56	11,01	19,65
Koszty pozostałe	20,48	8,66	9,62	12,48
Razem koszty stałe	85,50	65,42	70,31	73,89
Koszty całkowite	100,00	100,00	100,00	100,00

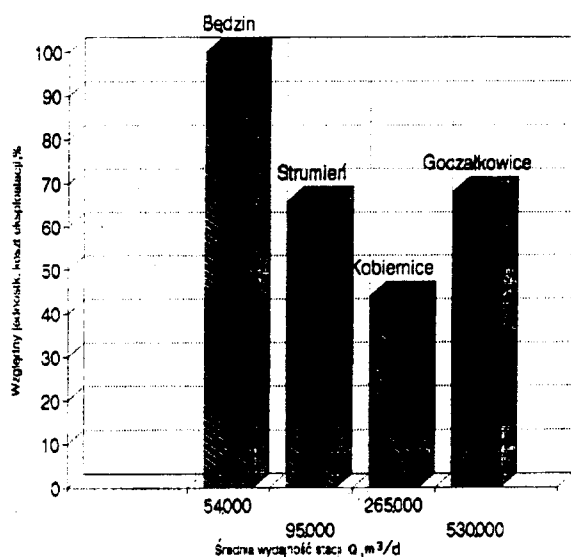
Struktura udziałów poszczególnych kosztów w rozważanych stacjach wodociągowych jest zbliżona. Widoczny jest malejący udział kosztów na płace pracowników w kosztach całkowitych w miarę zwiększania wydajności stacji. Udział kosztów materiałów w całkowitych kosztach eksploatacyjnych jest nieduży i waha się od 2,17 do 5,46 % za wyjątkiem SUW "Strumień" (18,36 %), która to stacja wykazuje największe koszty poniesione na zakup reagentów, czego przyczyną jest niska jakość wody surowej oraz mało efektywne tradycyjne urządzenia do jej uzdatniania. Udział kosztów ogólnych jest dość wysoki z tendencją do obniżania w miarę wzrostu wielkości stacji. Wielkość tego składnika systematycznie maleje począwszy od 1985 r. (tab. 3). Koszty amortyzacji na odtworzenie oraz koszty remontów kapitalnych i bieżących, jako element kosztów całkowitych, wzrastają w miarę zwiększania wydajności stacji. Energia elektryczna stanowi drugi pod względem wielkości element całkowitych kosztów eksploatacji (12,33+24,23 %). Szczególnie wysoki jest jej udział w stacjach "Kobiernice" i "Goczałkowice", czego przyczyną jest duża odległość tych stacji od odbiorców wody, a tym samym znaczne zużycie energii elektrycznej na pompowanie. Koszty pozostałe wykazują duże wahania. Ich udział jest najwyższy dla stacji "Będzin" i "Goczałkowice", gdyż te dwie stacje uzdatniają wodę surową kupowaną z zewnątrz i przez to ponoszą znaczne wydatki

na ten cel. Koszty zmienne wykazują tendencję do obniżania swojego udziału wraz ze wzrostem wielkości stacji. Wyjątek stanowi stacja uzdatniania "Będzin", pracująca w odmiennych warunkach.

Analizując względny całkowity koszt eksploatacji wszystkich czterech stacji uzdatniania wody od ich wydajności (rys.1), zauważyć można korzystny obszar wydajności zawarty w przedziale od 200 tys. do 400 tys. m³/d, w którym koszt eksploatacji osiąga minimum, a jednostkowa cena metra sześciennego wyprodukowanej wody jest najmniejsza.

Szczegółowa analiza kosztów eksploatacji SUW "Goczałkowice"

Schemat technologiczny stacji uzdatniania wody "Goczałkowice" przedstawiono na rysunku 2.



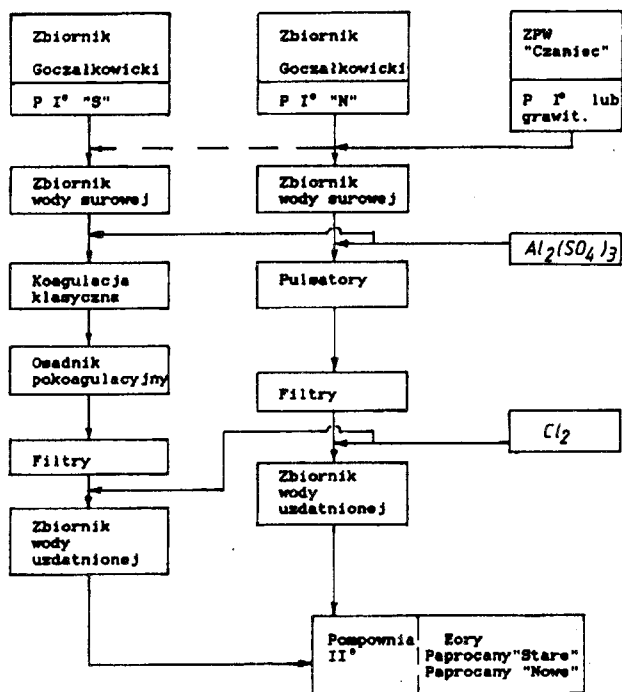
Rys.1. Zależność względnego jednostkowego kosztu eksploatacji stacji wodociągowych od ich wydajności w latach 1985 + 1992

Koszty stałe

W tabeli 3 zestawiono procentowy udział składników kosztów stałych w całkowitych kosztach eksploatacji stacji "Goczałkowice" w latach 1985+1992.

Tabela 3. Koszty stałe SUW "Goczałkowice" (%)

Rok	Płace i narzuty	Amortyzacja	Remonty	Pozostałe	Ogólne	Razem
1985	8,23	19,68	14,27	3,50	28,59	74,27
1986	9,06	21,50	9,95	5,64	27,80	73,95
1987	8,97	20,98	10,25	4,58	25,54	70,32
1988	9,67	19,57	13,24	5,63	26,46	74,57
1989	13,81	10,57	6,11	3,68	33,04	67,21
1990	7,20	24,50	1,80	10,20	23,70	67,40
1991	6,50	24,50	3,00	31,60	17,10	82,70
1992	6,70	15,90	7,90	35,10	15,10	80,70



Rys. 2. Schemat technologiczny stacji uzdatniania wody "Goczałkowice"

Udział poszczególnych elementów kosztów stałych jest względnie stabilny. W całym okresie obserwacji można wyróżnić dwa przedziały czasowe: pierwszy w latach 1985+1989 oraz drugi w latach 1990+1992. W pierwszym okresie sumaryczna wartość kosztów stałych wykazuje tendencję spadkową (od 74,27 do 67,21 %). Obniżenie udziału kosztów stałych następuje przy utrzymywaniu wydajności stacji na stałym poziomie. Od 1990 r. rozpoczyna się wzrost udziału tego wskaźnika, który wynika pośrednio z pogorszenia jakości wody i obniżenia potencjalnych możliwości jej poboru ze Zbiornika Goczałkowickiego oraz wyższego udziału wody surowej z Soły w procesach uzdatniania. Szczególnie wzrasta udział kosztów pozostałych (koszty zakupu wody).

Koszty zmienne

Procentowy udział kosztów zmiennych w całkowitych kosztach uzdatniania wody przedstawiono w tabeli 4. Ich sumaryczna wartość wykazuje tendencję wzrostową do 1989 r., a następnie spadek wynikający z już podanych przyczyn.

Tabela 4. Koszty zmienne SUW "Goczałkowice"

Rok	Koszty			Wydajność m ³ /d
	Energia elektryczna	Materiały	Razem	
1985	21,86	3,87	25,73	539.000
1986	22,41	3,64	26,05	531.000
1987	24,02	5,66	29,68	536.000
1988	21,98	3,45	25,43	535.000
1989	25,10	7,69	32,79	535.000
1990	23,50	9,10	32,60	534.000
1991	13,60	3,70	17,30	531.000
1992	13,50	5,80	19,30	528.000

Koszty materiałów

Dla stacji "Goczałkowice" o wielkości tego składnika decyduje zużycie reagentów (siarczan glinu i chlor). Ilość zużywanych reagentów zależy od jakości wody pobieranej na ujęciach, a ta z kolei określa sposób prowadzenia procesu koagulacji w obu ciągach technologicznych oraz wielkości dawek chloru niezbędnych do dezynfekcji wody. W tabeli 5 przedstawiono czynniki mające wpływ na zużycie materiałów w procesie uzdatniania. Przedstawione dane wykazują wzrost liczby dni przeprowadzonej koagulacji w miarę upływu lat obserwacji. Utrzymujący się od kilku lat niski poziom wody w tym zbiorniku oraz nasilające się w okresie letnim zakwity sinic powodują stałe pogarszanie jakości ujmowanej wody, a zarazem potrzebę zwiększenia intensywności jej oczyszczania. Średnioroczne wskaźniki podstawowych zanieczyszczeń (barwa, mętność) nie wykazują tendencji wzrostowej i nie mogą stanowić podstawy do szerszej analizy. Interesujące są natomiast wahania tych zanieczyszczeń w badanym okresie (w ciągu "S" barwa 5+230 gPt/m³, mętność 1+40 g/m³; w ciągu "N" barwa 18+180 gPt/m³, mętność 2+30 g/m³). Wraz ze wzrostem liczby dni przeprowadzanej koagulacji rośnie ilość zużywanych reagentów (tab. 5), a szczególnie siarczanu glinu. Nie występuje tu zależność proporcjonalna, gdyż dawka koagulantu jest zmienna i uwarunkowana jakością ujmowanej wody.

Tabela 5. Zużycie reagentów w SUW "Goczałkowice" zależnie od jakości wody

Rok	Koagulacja liczba dni		Barwa* gPt/m ³	Mętność* g/m ³	Zużycie	
	S	N			koagulantu kg	chloru kg
1985	37	15	26,5	9,0	277.201	712.405
1986	66	2	22,5	9,0	241.800	728.756
1987	86	41	23,0	12,5	615.000	761.842
1988	140	21	20,0	9,0	675.900	753.083
1989	173	45	21,5	12,5	1.025.900	690.900
1990	283	24	21,5	9,0	1.167.600	627.000
1991	217	99	23,5	7,0	2.102.000	564.000
1992	223	158	29,6	7,8	2.959.000	582.00

Koszty energii elektrycznej

Całkowite zużycie energii elektrycznej dla stacji "Goczałkowice" wyniosło średnio w analizowanym okresie 57,5 mln kWh/a. Procentowy jej udział w kosztach uzdatniania przedstawia tabela 4. Zdecydowana większość energii zużywana jest na pompowanie wody (rys.2 – pompownie I°, II°, pompownie "Żory" oraz "Stare" i "Nowe Paprocany"), co stanowi 94+97,5 %. Pozostałą część energii stacja zużywa bezpośrednio w procesach uzdatniania wody. Analiza zużycia energii elektrycznej w procesach uzdatniania [2] wykazała, że w okresach zatrzymanej koagulacji zdecydowana część energii (ponad 80 %) zużywana jest na płukanie filtrów. Sytuacja zmienia się w trakcie prowadzenia procesu koagulacji. W tym przypadku około 60 % dobowego zużycia energii w procesach uzdatniania wody pobierane jest przez urządzenia do prowadzenia koagulacji. Jednostkowe wskaźniki poboru mocy wynoszą od 0,006 do 0,020 kWh/m³, przy czym wartości dla ciągu "nowego" stanowią około 77 % wartości wskaźników dla ciągu "starego", niezależnie od tego czy jest prowadzona koagulacja.

Wnioski

1. W strukturze kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wód powierzchniowych z koagulacją największy udział mają koszty ogólne i koszty energii elektrycznej. Udział kosztów ponoszonych na płace pracowników oraz kosztów zmiennych w kosztach całkowitych maleje w miarę zwiększania wielkości stacji; wzrasta natomiast udział kosztów amortyzacji na odtworzenie oraz remonty kapitalne i bieżące.

2. Porównując całkowite koszty eksploatacji dla poszczególnych stacji zauważa się korzystny zakres wydajności od około 200 do 400 tys. m³/d, w którym koszty te są najmniejsze. Minimum to wyznacza stacja uzdatniania w Kobiernicach, gdzie woda poddawana jest procesowi koagulacji powierzchniowej, co stanowi jej odmienność w stosunku do pozostałych stacji i nie pozwala na jednoznaczne uogólnienie uzyskanych wyników.

3. Koszty stałe stacji uzdatniania w Goczałkowicach wykazywały w latach 1985+1989 tendencję spadkową. Obniżenie ich udziału w kosztach całkowitych związane było ze zmianami jakości ujmowanej wody, lecz od 1990 r. ich udział wzrasta, co spowodowane jest większymi zakupami wody ze zlewni Soły.

4. Pogarszanie jakości wody ujmowanej w Goczałkowicach wydłuża okres prowadzenia koagulacji w obu ciągach technologicznych. Powoduje to zwiększenie ilości zużywanych reagentów (szczególnie siarczanu glinu) oraz wzrost poboru energii elektrycznej na procesy uzdatniania.

5. Analizowane dane oraz informacje o zlewniach Wisły, Soły, Brynicy i Czarnej Przemszy pozwalają stwierdzić, że w kolejnych latach będzie następowało dalsze pogarszanie parametrów ujmowanej wody. Spowoduje to wydłużenie okresów prowadzenia koagulacji, zwiększenie zużycia reagentów i energii elektrycznej w procesach uzdatniania wody oraz zmianę relacji kosztów stałych do kosztów zmiennych.

LITERATURA

1. Materiały archiwalne. Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów w Katowicach (prace nie publikowane).
2. A. OLSIŃSKI, K. KUŚ: Analiza kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody w Goczałkowicach. Mat. konf. "Współczesne problemy gospodarki wodno-ściekowej", PZITS, Kołobrzeg 1993, ss. 318-324.

RUNNING COSTS FOR SURFACE WATER TREATMENT PLANTS

Our analysis includes the components of the water production costs for the largest water treatment plants being part of the Water Supply System for Upper Silesia. In every instance raw water originates from surface resources, and coagulation is incorporated in the technological system. Making use of the results of 8-year observations (1985-1992), the relationship between production costs, plant size and raw water quality was established. It should be noted that the relation between fixed and changeable costs varied with the increasing deterioration of the raw wa-

ter quality. A detailed analysis of how the raw water quality variations affected the relationships among individual components of the total costs was carried out for the largest water treatment plant belonging to the Upper Silesian Water Supply System (Goczałkowice). Thus, general costs (overheads) and electric energy costs accounted for the majority of the water production costs. Material costs were comparatively low (several percent). The changeable costs to fixed costs ratio decreased with the increasing size of the treatment plant.