

# Wytwarzanie energii oraz ograniczanie jej zużycia na przykładzie przedsiębiorstwa wodociągowego

**Abstrakt:** Energia elektryczna stanowi ważną pozycję w kosztach działalności każdego przedsiębiorstwa. Dlatego jej oszczędne zużycie oraz możliwość generacji dają szansę na znalezienie oszczędności i uzyskanie lepszej pozycji rynkowej. Generacja rozproszona pozwala nie tylko na ograniczenie kosztów, ale również zmniejszenie strat na przesyłce oraz zwiększenie niezawodności. Wytwarzanie energii nabiera szczególnego znaczenia w przypadku przedsiębiorstw komunalnych, których koszty funkcjonowania przekładają się bezpośrednio na stawki opłat ponoszonych przez mieszkańców. Zwykle tego typu przedsiębiorstwa posiadają naturalne uwarunkowania, jak np. miejsce pod zabudowę odnawialnych źródeł energii. Rozwój OZE to nie tylko moda, ale przede wszystkim działanie w celu ograniczenia emisji i redukcji zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery. Oszczędność opłat za energię elektryczną można uzyskać przez jej wytwarzanie, ale także dzięki zastosowaniu inteligentnych rozwiązań w zakresie optymalizacji sterowania pracą głównych odbiorników energii elektrycznej. Wykorzystanie inteligentnych narzędzi staje się coraz bardziej powszechnie, a koszty poniesione na wdrożenie zwracają się w krótkim okresie. Tego typu środki pozwalają również na ograniczenie kosztów związanych z obsługą oraz na zapewnienie bezpieczeństwa prowadzonych procesów technologicznych. W artykule przedstawiono działania w zakresie wytwarzania i oszczędzania energii na przykładzie Wodociągów Miasta Krakowa SA.

**Słowa kluczowe:** energia elektryczna, ciepło, kogeneracja, biogaz

Energia elektryczna stanowi istotny element kosztów dostawy wody i odbioru ścieków. Ze względu na wzrost cen, który miał miejsce w ostatnich latach, zakup energii stał się istotną pozycją kosztową w działalności przedsiębiorstw wodociągowych. Sytuacja ta wymusza konieczność nieustannego poszukiwania rozwiązań, które ograniczą koszty jej zakupu. W tym kontekście możemy myśleć zarówno o możliwościach samodzielnego wytwarzania energii, jak i o sposobach na redukcję zużycia energii przy zachowaniu parametrów technologicznych. Działania podejmowane w poszukiwaniu oszczędności możemy podzielić na dwa rodzaje:

- 1) organizacyjne, np.:
  - dobór mocy zamówionej,
  - właściwy dobór taryf,
  - odpowiednie harmonogramy pracy urządzeń;

2) techniczne, np.:

- modernizacja lub wymiana głównych odbiorników energii, modernizacja ciągów technologicznych,
- zastosowanie innowacyjnych sposobów sterowania głównymi odbiornikami, budowa instalacji wytwarzających energię.

Wodociągi Miasta Krakowa SA uczestniczą w szerokim procesie poszukiwania oszczędności energetycznych, podejmując wiele przedsięwzięć, zarówno organizacyjnych, jak i technicznych.

## Wytwarzanie energii z biogazu

Wodociągi Miasta Krakowa SA posiadają dwie centralne oczyszczalnie ścieków. W porze bezdeszczowej przez Oczyszczalnię Płaszów przepływa dobowo ok. 165 000 m<sup>3</sup> ścieków, zaś przez Oczyszczalnię Kujawy – ok. 55 000 m<sup>3</sup> ścieków.

W Oczyszczalni Płaszów w czterech wydzielonych komorach fermentacyjnych, każda o pojemności 5000 m<sup>3</sup>, wytwarza się łącznie około 15 000 m<sup>3</sup> biogazu na dobę (Rys. 1). Wyprodukowany biogaz magazynowany jest w dwóch zbiornikach – każdy o pojemności ok. 3080 m<sup>3</sup>. Są to nowoczesne naczynia sferyczne pozwalające na działanie przy zakresie napętnienia 100–20%, co daje możliwość efektywnego sterowania pracą jednostek wytwórczych oraz magazynowania pokaźnej objętości biogazu w okresach jego zwiększonej produkcji. Wytwarzany w oczyszczalni biogaz jest poddawany procesowi uzdatniania w instalacji osuszania i usuwania siarkowodoru oraz siloksanów. Dopiero

po uzdatnieniu surowiec może być bezpiecznie użyty do produkcji energii elektrycznej i ciepła.



Rys. 1. Zbiorniki biogazu na terenie Oczyszczalni Płaszów (w całym artykule źródło: Wodociągi Miasta Krakowa SA)

Biogaz zasila jednostki kogeneracyjne, może również służyć jako paliwo dla kotłowni gazowej. Trzy jednostki kotłowe mogą być zasilane zarówno biogazem, jak i gazem ziemnym. Oczyszczalnia Płaszów posiada cztery jednostki kogeneracyjne – każda o mocy elektrycznej 800 kW. Dwie z nich umiejscowiono w budynku energetycznym, gdzie są podłączone do rozdzielni głównej niskiego napięcia, natomiast dwie nowe<sup>1</sup>, w formie wolnostojącej, są podłączone poprzez stację transformatorową 0,4/15 kV do rozdzielni głównej średniego napięcia (Rys. 2).



Rys. 2. Dwie nowe jednostki kogeneracyjne – każda o mocy 800 kW

Ich istotną zaletą jest możliwość funkcjonowania przy zasilaniu zarówno biogazem, jak i gazem ziemnym,

<sup>1</sup> Budowa nowych jednostek kogeneracyjnych, wraz ze zbiornikami biogazu, została zrealizowana w ramach Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2014–2021, program „Środowisko, Energia Zmiany Klimatu”, obszar programowy „Energia odnawialna, efektywność energetyczna, bezpieczeństwo energetyczne”. Koszt całkowity projektu wyniósł 18 775 469,07 zł, a wysokość otrzymanego dofinansowania to 6 561 675,00 zł.

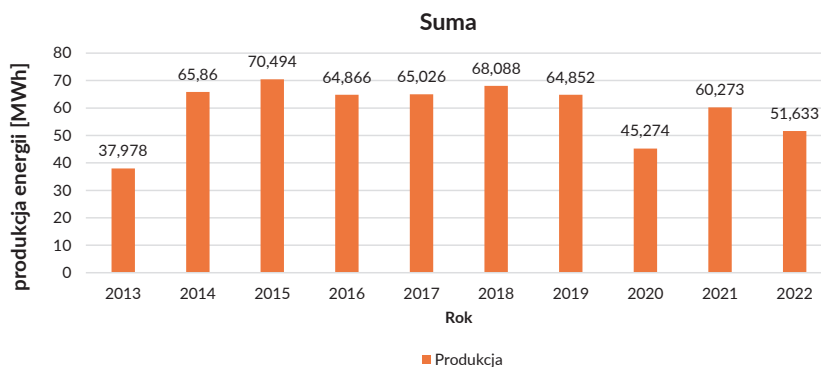
co w sytuacji braku napięcia zasilającego umożliwia pracę „na wyspę”, dzięki czemu podtrzymany zostaje proces technologiczny oczyszczalni. Do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła służą również dwie turbiny – każda zasilana biogazem o mocy elektrycznej 60 kW i mocy cieplnej 100 kW. Głównym zadaniem turbin zasilanych biogazem jest eliminacja spalania biogazu w pochodni.

W ramach wspomnianego projektu wykonano również instalację do odzysku ciepła odpadowego pochodzącego ze spalania osadów ściekowych w Stacji Termicznej Utylizacji Osadów (STUO), które wcześniej było wytracane (rozpraszane do atmosfery) za pośrednictwem chłodnic wentylatorowych. Układ odbioru ciepła odpadowego pozwala na przekierowanie wody chłodzącej przed chłodnicami wentylatorowymi STUO do płytowego wymiennika ciepła I stopnia typu glikol-woda. Wymiennik posiada moc 300 kW i jest zabudowany w węźle cieplnym instalacji ciepła odpadowego ze STUO. Instalacja ta ma za zadanie przekierowanie ciepła do wymiennika II stopnia typu woda-glikol, który został wykonany przy węźle cieplnym stacji przyjęcia osadów z kanalizacji. Ciepło odpadowe zapewnia możliwość ogrzewania urządzeń technologicznych związanych z pracą stacji w okresach ujemnych temperatur. Urządzenia technologiczne są ogrzewane strefowo za pomocą sześciu aparatów grzewczo-wentylacyjnych, każdy o mocy 50 kW.

W przypadku braku możliwości odzysku ciepła ze STUO instalacja węzła cieplnego jest zasilana awaryjnie z nowych agregatów kogeneracyjnych. Za pomocą układu zaworów odcinających i zaworu regulacyjnego można przekierować wodę grzewczą z nowych agregatów kogeneracyjnych z pominięciem wymiennika I stopnia bezpośrednio do wymiennika II stopnia.

## Energia z farmy fotowoltaicznej

Jednostki kogeneracyjne nie są jedynymi źródłami energii elektrycznej. Na terenie oczyszczalni od czerwca 2013 r. pracuje doświadczalna farma fotowoltaiczna o mocy 60 kWp. Na Rys. 3 przedstawiono produkcję energii elektrycznej w doświadczalnej farmie w latach 2013–2022.



Rys. 3. Produkcja energii w doświadczalnej farmie fotowoltaicznej w latach 2013–2022

Produkowana energia jest w całości wykorzystywana do zasilania urządzeń technologicznych.

energia wytwarzana w oczyszczalni pokrywa 100% jej zapotrzebowania na ciepło oraz ponad 50% całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną.

## Odzysk energii ze ścieków oczyszczonych

W Oczyszczalni Płaszów od 2017 r. funkcjonuje również turbina wodna zabudowana w komorze pomiarowej na wylocie ścieków oczyszczonych do odbiornika. Jest to tzw. turbina Kaplana z podwójną regulacją, którą umożliwiają kierownica z ruchomymi łopatkami oraz wirnik z ruchomymi łopatkami, sprzężona z generatorem o mocy 85 kW. Generator jest zsynchronizowany z siecią energetyczną oczyszczalni, a całość wytworzonej energii jest zużywana przez działające tam obiekty technologiczne. Cały zespół urządzeń pracuje przy pełnym zanurzeniu w ściekach oczyszczonych. Turbina może pracować w bardzo szerokim zakresie przepływów oraz zmiany rzędnej odbiornika, gdyż w komorze pomiarowej mogą występować natężenia przepływów w zakresie 0–13 750 m<sup>3</sup>/h. Minimalny przepływ przez turbinę wynosi 2800 m<sup>3</sup>/h (dla pełnego zakresu wymaganych rzędnych wody dolnej), natomiast maksymalny przepływ przez turbinę wynosi 9000 m<sup>3</sup>/h (dla pełnego zakresu wymaganych rzędnych wody dolnej). Na Rys. 4 przedstawiono widok turbiny w czasie prac serwisowych.

Odzyskując energię z oczyszczonych ścieków odprowadzanych do odbiornika, w ciągu roku turbina produkuje około 380 MWh energii elektrycznej. Biorąc pod uwagę przedstawione rozwiązania, można stwierdzić, że



Rys. 4. Turbina zabudowana w komorze pomiarowej ścieków oczyszczonych

## Produkcja energii elektrycznej i ciepła w Oczyszczalni Kujawy

W drugiej krakowskiej oczyszczalni – Kujawy – rocznie produkuje się ok. 3 350 000 Nm<sup>3</sup> biogazu. Pracują tam cztery jednostki kogeneracyjne – dwie o mocy elektrycznej 193 kW (moc cieplna 214 kW), jedna o mocy elektrycznej 173 kW (moc cieplna 289 kW) oraz uruchomiony w 2022 r. kogenerator o mocy elektrycznej 600 kW. Ponadto w tym samym okresie została zabudowana turbina o mocy 200 kW, zasilana biogazem. Na Rys. 5 przedstawiono widok turbiny zasilanej biogazem.



Rys. 5. Turbina o mocy 200 kW zasilania biogazem

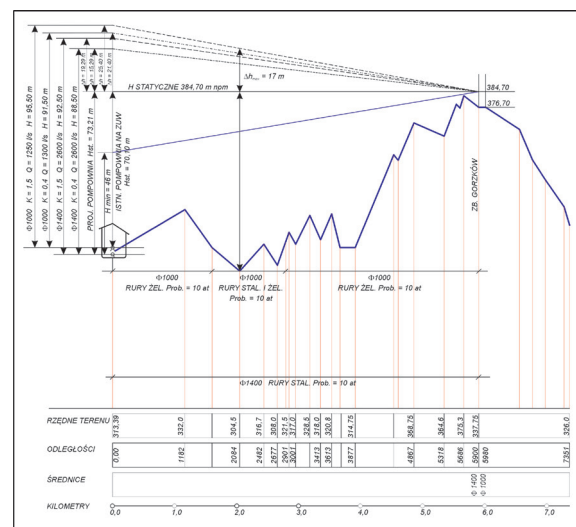
Wytwarzana w Oczyszczalni Kujawy energia elektryczna pozwala na pokrycie ok. 90% zapotrzebowania obiektu na energię. Ponadto w 100% pokrywa jego zapotrzebowanie na ciepło.

Biorąc pod uwagę najbliższą przyszłość, należy również wspomnieć o toczącym się aktualnie postępowaniu przetargowym na wyłonienie wykonawcy farmy fotowoltaicznej o mocy ok. 500 kW na terenie Oczyszczalni Kujawy. Uruchomienie farmy pozwoli oczyszczalni na osiągnięcie efektu pasywności.

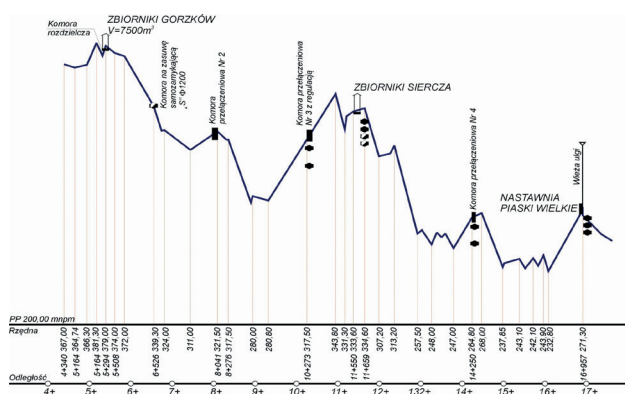
## Turbina na grawitacyjnym sływie wody uzdatnionej

Zakład Uzdatniania Wody Raba dostarcza ponad 50% wody dla zaopatrzenia mieszkańców aglomeracji krakowskiej. Woda pobierana jest z ujęcia wieżowego zlokalizowanego na przyczółku zbiornika dobczyckiego. Jest to sztuczny akwen uruchomiony w 1986 r. na rzece Rabe. Jego pojemność przy nominalnym poziomie piętrzenia wynosi 127 mln m<sup>3</sup>. Konstrukcja ujęcia pozwala na pobieranie wody z trzech poziomów: 3, 9 i 15 m, z których każdy jest monitorowany w sposób ciągły pod względem jakości wody.

Decyzja, z jakiej głębokości należy w danym momencie pobierać wodę, jest podejmowana na podstawie wyników badań. Następnie za pośrednictwem dwu- i trójstopniowych pomp diagonalnych napędzanych przez asynchroniczne silniki klatkowe o mocach 1600, 1150 oraz 800 kW, pobrana woda jest tłoczona dwoma rurociągami o średnicach 1000 i 1400 mm i długości ok. 1800 m do zakładu uzdatniania. Aby mogła dotrzeć na miejsce, należy podnieść ją na wysokość ok. 68 m. Po przejściu tego skomplikowanego procesu technologicznego otrzymujemy doskonałej jakości wodę przeznaczoną do spożycia. Należy jeszcze tylko wtłoczyć ją do rurociągów tranzytowych i za ich pośrednictwem doprowadzić do krakowskiego systemu dystrybucji. Zadanie to realizują zlokalizowane na terenie zakładu Raba dwie pompownie. Raba I pochodzi z pierwszego etapu budowy zakładu, ma wydajność 1000 l/s i sześć zainstalowanych pomp o mocy 320 kW. Raba II to pompownia o wydajności 2000 l/s, z ośmioma pompami o mocy 630 kW, powstała na drugim etapie budowy zakładu. Pompy te odpowiadają za tłoczenie wody do zespołu zbiorników retencyjnych zlokalizowanych w najwyższym punkcie na trasie przepływu wody. Podobnie jak z ujęcia wieżowego, woda do zbiorników jest tłoczona za pośrednictwem dwóch rurociągów o średnicach 1000 i 1400 mm. Układ wysokościowy części tłocznej przedstawia Rys. 6.



Z zespołu zbiorników woda spływa grawitacyjnie dwoma rurociągami o średnicach 1000 i 1400 mm w kierunku kolejnych zbiorników retencyjnych. Układ wysokościowy grawitacyjnego spływu wody przedstawia Rys. 7.



Rys. 7. Układ wysokościowy grawitacyjnego spływu wody

Na grawitacyjnym odcinku rurociągu magistralnego, w miejscu występowania nadwyżek ciśnienia, zabudowano turbinę wodną o mocy 440 kW, wykorzystującą energię potencjalną przepływającej wody. Zastosowano tzw. turbinę Francisa z możliwością zmiany kąta nachylenia łopat (Rys. 8), dzięki czemu uzyskano płynną regulację układu i możliwość odzysku energii z nadwyżki ciśnienia, bez ryzyka doprowadzenia do nadmiernego dławienia ciśnienia. Głównym zadaniem turbiny jest regulacja napływu wody do zbiorników, zaś produkcja energii elektrycznej odbywa się niejako przy okazji. Rocznie turbina produkuje ok. 2800 MWh energii elektrycznej. Całość wytworzonej energii jest w tym wypadku odsprzedawana do sieci energetycznej operatora, gdyż z uwagi na umiejscowienie turbiny w komorze regulacyjnej nie ma możliwości jej wykorzystania na terenie obiektu.

Energia elektryczna wyprodukowana przez turbinę pokrywa ok. 27% energii zużywanej na przepompowanie wody z zakładu uzdatniania do zbiorników retencyjnych zlokalizowanych w najwyższym punkcie na trasie przesyłu wody do Krakowa. Jeśli przyjąć założenie, że przeciętne gospodarstwo domowe ma

moc przyłączeniową ok. 4 kW i zużywa ok. 300 kWh energii na miesiąc, to – uwzględniając współczynnik jednoczesności – nasza turbina może stanowić źródło zasilania dla ok. 100 takich gospodarstw.



Rys. 8. Widok turbiny wraz z generatorem

## Działania związane z produkcją i redukcją zużycia energii elektrycznej w Zakładzie Uzdatniania Wody Raba

W kontekście wytwarzania energii elektrycznej w zakładach uzdatniania warto wspomnieć o końcowej fazie realizacji farmy fotowoltaicznej o mocy 920 kWp zlokalizowanej na dachu poletek osadowych Zakładu Uzdatniania Wody Raba. Przy okazji budowy farmy zmodernizowano również konstrukcję zadaszania poletek. Całość wytworzonej przez farmę energii elektrycznej będzie wykorzystana do zasilania urządzeń technologicznych, przez co ograniczona zostanie konieczność jej dokupywania u dostawcy. Uruchomienie farmy jest planowane na wrzesień 2024 r. Na Rys. 9 przedstawiono widok farmy fotowoltaicznej na końcowym etapie realizacji.

Produkowana tu energia elektryczna będzie transformowana na napięcie 6 kV i włączona do rozdzielnicy głównej średniego napięcia.



Rys. 9. Farma fotowoltaiczna o mocy 920 kWp

Niezależnie od budowy jednostek wytwórczych podejmowane są działania związane z ograniczeniem jednostkowego zużycia energii przez poszczególne jednostki pracujące w ciągach technologicznych. Jednym z takich działań jest modernizacja i wymiana urządzeń na takie, które zużywają mniej energii elektrycznej. Przykładem może być modernizacja linii technologicznej ozonowania wody w ZUW Raba, gdzie dzięki zmianie technologii wytwarzania ozonu oraz zastosowaniu nowoczesnych generatorów udało się ograniczyć zużycie energii elektrycznej o 94 kW w ciągu godziny, co miesięcznie daje oszczędność rzędu 68 MWh energii elektrycznej.

## Podsumowanie

Krakowskie wodociągi realizują szereg przedsięwzięć wykorzystujących inteligentne systemy sterowania w celu ograniczenia zużycia energii przez eksploatowane urządzenia. Przykładem może być Zintegrowany System Efektywności Energetycznej (ZSEE) stosowany przez Oczyszczalnię Płaszów. Narzędzie zostało opracowane i wdrożone w ramach grantu naukowo-badawczego realizowanego przez Wodociągi Miasta

Krakowa SA i Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie. Jeżeli na oczyszczalnię ścieków popatrzymy pod kątem zużycia energii elektrycznej, to pompy i dmuchawy należą do urządzeń, których praca pochłania największe jej ilości. Dlatego głównym zadaniem ZSEE jest wspomaganie sterowania sprzętem niezbędnym do realizacji procesu technologicznego. ZSEE jest nadrzędny wobec działającego w oczyszczalni układu kontroli i sterowania. System ten, dzięki analizie parametrów pracy urządzeń oraz parametrów procesów technologicznych, modyfikuje algorytmy sterowania urządzeniami w celu optymalizacji efektywności energetycznej. Jest również połączony z systemem SCADA oczyszczalni. Aby poprawić efektywność energetyczną, monitoruje sprawność poszczególnych urządzeń (pompy i dmuchawy) i uruchamia je w taki sposób, aby w danej chwili pracowały tylko te o najwyższej sprawności. Dzięki odpowiednio dobranym algorytmom dokonuje również optymalizacji regulacji wydajności, by całkowite chwilowe zużycie energii pobieranej z sieci było jak najmniejsze. Zmieniona została również filozofia sterowania urządzeniami poprzez wprowadzenie tzw. harmonogramowania zadań, które polega na odpowiednim ukształtowaniu i zsynchronizowaniu włączania i wyłączania urządzeń energetycznych. Istotnym

elementem systemu jest układ sterowania dmuchawami, które dostarczają niezbędną ilość powietrza do komór tlenowych reaktorów biologicznych. Algorytm sterowania pozwala na zmianę wartości zadanej ciśnienia w zależności od zapotrzebowania komór bio-reaktorów na tlen. Ponadto wprowadzono również tzw. kolejkowanie włączania. Dmuchawa o wyższej sprawności (wyliczanej w systemie ZSEE) jest ustawiana jako pierwsza w kolejce do włączenia. Przy wyliczaniu sprawności dmuchawy pod uwagę bierze się takie czynniki jak: stopień otwarcia dyfuzora, prąd, moc, przepływ, różnica ciśnień na filtrze oraz współczynnik energetyczny liczony w kilowatach na metr sześcienny. Z energetycznego punktu widzenia bardzo istotna jest optymalizacja sterowania dmuchawami, bowiem są one wyposażone w silniki elektryczne o mocy 400 kW.

Intensywnie prowadzone są również prace związane z zastosowaniem sztucznej inteligencji do sterowania głównymi odbiornikami energii elektrycznej w oczyszczalniach ścieków. Pierwsze rozwiązania w tym zakresie zostały już oddane do eksploatacji.

Warto podkreślić, że Oczyszczalnia Płaszów oraz ZUW Raba należą do głównych konsumentów energii elektrycznej w WMK SA – zużywają one łącznie około 80% energii pobieranej przez wodociągi krakowskie. Każdy efekt oszczędnościowy ma więc ogromne znaczenie. Gospodarność w zakresie energii pozwala na ograniczenie zakupów u dostawcy, co przekłada się na wynik finansowy. Mniejsze zapotrzebowanie na energię, która w dużej części jest wytwarzana z węgla, ma również wpływ na ochronę środowiska i ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>.

#### Bibliografia:

- T. Żaba (2012), *Odzysk energii z grawitacyjnego spływu wody zasilającej krakowski system zaopatrzenia w wodę*, „Woda i My” 63: 4–5.
- T. Żaba (2013), *Analiza pracy turbiny wodnej zabudowanej na rurociągu magistralnym zasilającym krakowski system zaopatrzenia w wodę*, „Instal” 10: 55–59.
- T. Żaba, A. Langer (2013), *Zastosowanie turbiny do odzysku energii na rurociągu magistralnym zasilającym krakowski system zaopatrzenia w wodę*, „Paliwa i Energetyka” 4: 62–65.

### Energy generation and reduction of energy consumption on the example of a water supply company

**Abstract:** Electricity is an important item in the operating costs of every company. Therefore, its economical consumption and the possibilities of its own generation give the opportunity to reduce costs and gain a better market position. Distributed generation allows not only to reduce costs, but also to reduce transmission losses and increase reliability. Energy generation is of particular importance in the case of municipal enterprises, where their costs translate directly into the rates of fees borne by residents. Usually, this type of enterprises have natural conditions, such as a place for the development of renewable energy sources. Renewable energy sources are not only a fashion, but also a significant impact on reducing emissions and pollutants emitted into the atmosphere. Saving electricity fees is not only its generation, but also the use of intelligent solutions in the field of optimization of control of the operation of the main electricity consumers. The use of smart solutions is becoming more and more common, and the costs incurred for implementation are recouped in the short term. Such solutions also allow you to reduce the costs associated with service and ensure the safety of technological processes. The article presents activities in the field of energy generation and saving on the example of the Krakow Water PLC.

**Keywords:** electrical energy, heat, cogeneration, biogas

#### Dr inż. Tadeusz Żaba

Wodociągi Miasta Krakowa SA  
Wydział Inżynierii Środowiska  
i Energetyki Politechniki Krakowskiej

