

# Kierunek: pasywna oczyszczalnia Płaszów



tekst: ANNA BIEDRZYCKA, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, zdjęcia: MPWIK SA w KRAKOWIE

Oczyszczalnie zwiększają zużycie energii z powodu konieczności dopasowania się do coraz surowszych wymogów jakościowych dla oczyszczonych ścieków. W tej sytuacji wysiłki inżynierów skupiają się na stworzeniu systemu zdolnego wydatnie zredukować zużycie energii konwencjonalnej, a nawet zbliżyć oczyszczalnię do poziomu obiektu pasywnego. Taki projekt realizują Wodociągi Krakowskie w oczyszczalni Płaszów we współpracy z naukowcami z Akademii Górniczo-Hutniczej.

W bilansie zużycia energii elektrycznej na cele komunalne gospodarka wodno-ściekowa (dostarczanie wody i oczyszczanie ścieków) pochłania ok. 1/3 całej energii (pozostali główni odbiorcy to transport miejski i oświetlenie – po ok. 1/3). Nie tylko duży udział w zużyciu energii, ale też specyfika sektora wodnego skłaniają do poszukiwania oszczędności energetycznych. Zakłady oczyszczania ścieków są w ostatnich latach poddawane ciągłym, intensywnym modernizacjom, co wynika z dyrektyw UE wymuszających postęp technologiczny dla spełnienia wymagań jakościowych (Urban Wastewater Treatment Directive, Bathing Waters Directive, Freshwater Fish Directive, Habitats Directive, EU Sludge Directive, Water Framework Directive). Nastawienie na inwestycje w tym sektorze jest widoczne we wszystkich krajach europejskich, a koszt modernizacji i rozwoju samych zakładów oczyszczania ścieków, jak podają w swoim raporcie *Elementy pasywnej energetycznie gospodarki miejskiej* prof. Tadeusz Uhl z AGH i dr Tadeusz Żaba z MPWiK SA w Krakowie, szacowany jest na 32,5 mld €. Wymienieni autorzy porównali skalę wydatków inwestycyjnych w technologii wspierające efektywność energetyczną w przemyśle wodnym oraz w innych gałęziach przemysłu na przykładzie Wielkiej Brytanii. Okazuje się, że nakłady na ten cel w przemyśle wodnym są nawet kilkakrotnie wyższe i wyniosły 12,22 mld € (spółki wodne) i 3,45 mld € (inne gałęzie przemysłu) w 2005 r., 12,74 i 5,51 mld € w 2010 r. i 13,39 i 8,93 mld € w 2015 r.

Energia elektryczna stanowi 25–40% budżetów operacyjnych spółek wodnych i ok. 20% kosztów związanych z dostarczaniem i uzdatnianiem wody przeznaczonej do spożycia. W ciągu najbliższych 15 lat przewidywany jest dalszy wzrost zużycia energii na poziomie 60–100% (do 240% według najmniej korzystnych prognoz). Szuka się więc sposobów na odwrócenie tego trendu albo chociaż poprawę prognoz. Wśród metod temu służących są m.in. odzysk energii na rurociągach z wodą pitną, montaż turbin na zrzucie oczyszczonych ścieków, modyfikacja strategii sterowania, montaż systemów ORC i materiałów termoelektrycznych. Zmienia się przy tym sposób myślenia o energii w kontekście przyszłości energetycznej miast. Jak piszą wspomniani wyżej autorzy, wkrótce zamiast operować pojęciami energia elektryczna, gaz, ropa, będziemy mówić o ogrzewaniu, klimatyzacji, oświetleniu, przemieszczaniu ludzi i towarów, wypoczynku. Nastąpi bowiem przejście z systemu scentralizowanego, opartego na jednym nośniku energii, do systemu rozproszonego, elastycznego, o wielu źródłach, opartego na odnawialnych źródłach

energii, o budowie podobnej do budowy Internetu. Działania te mają doprowadzić do redukcji zapotrzebowania na energię elektryczną o 2 kWh na osobę na dobę i zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> do 1 t na osobę na rok do 2050 r.

## System pilotażowy w trzy lata

W 2015 r. Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA w Krakowie uzyskało z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju grant naukowo-badawczy *Energetycznie pasywna oczyszczalnia ścieków*. Ma się on zakończyć w 2017 r., a jest realizowany w konsorcjum z Akademią Górniczo-Hutniczą. Całkowity koszt projektu wyniesie 14 472 750,00 zł, z czego kwota dofinansowania ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju to 6 959 662 zł (w ramach programu GEKON – Generator Koncepcji Ekologicznych, umowa nr GEKON2/02/266926/3/2015).

Jako cel projektu wskazano stworzenie zintegrowanego systemu efektywności energetycznej (ZSEE), zdolnego znacznie obniżyć zużycie energii konwencjonalnej, a tym samym zbliżającego oczyszczalnię do poziomu obiektu pasywnego. Zakres projektu obejmuje zwiększenie produkcji energii elektrycznej w oparciu o zasoby OZE i stworzenie systemu zarządzania tą energią (turbiny gazowe, turbina wodna, odzysk ciepła odpadowego). Natomiast efekt projektu ma polegać na obniżeniu kosztów funkcjonowania oczyszczalni przez ograniczenie zakupów energii oraz zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> do atmosfery.

Instalacja pilotażowa powstaje w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni Płaszów (maksymalna wydajność części biologicznej oczyszczalni to 328 tys. m<sup>3</sup>/dobę, a części mechanicznej 640 tys. m<sup>3</sup>/dobę, średni przepływ wynosi ok. 160 tys. m<sup>3</sup>/dobę). Po rozbudowie i modernizacji przeprowadzonej w latach 2003–2010 jest to obecnie jeden z najnowocześniejszych zakładów oczyszczania w Polsce. Przyjmuje ścieki komunalne od ok. 500 tys. mieszkańców. Osiągane parametry redukcji zanieczyszczeń są tak wysokie, że oczyszczone ścieki wypływające do Wisły (odbiornikiem jest Drwina, dopływ Wisły) są od niej czystsze. Na terenie oczyszczalni znajduje się stacja termicznej utylizacji osadów, dzięki której ilość odpadów zmniejszyła się z 276 do 25 t/dobę, rozwiązując problem gospodarki osadami ściekowymi całej aglomeracji krakowskiej. Oczyszczalnia jest w znacznym stopniu samowystarczalna energetycznie, ale Wodociągi Krakowskie nie zamierzają na tym poprzestać.

Jak już powiedziano, zintegrowany system efektywności energetycznej będzie działał dwutorowo – przez zmniejszenie zu-

życia energii oraz przez zwiększenie jej produkcji z zasobów OZE. W trakcie prac realizacyjnych i testów systemu zostanie poszerzona wiedza na temat efektów działania jego poszczególnych elementów, zwłaszcza w zakresie występowania synergii w systemie zintegrowanym. Określone zostaną również perspektywy dalszej poprawy efektywności energetycznej zakładu, aż do osiągnięcia jego pełnej pasywności.

Zadania w projekcie zostały podzielone według kompetencji i możliwości techniczno-wykonawczych członków konsorcjum naukowo-przemysłowego. Głównym wykonawcą badań jest Katedra Robotyki i Mechatroniki Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH. Przygotowanie modelu wraz z harmonogramem procesów technologicznych oraz wyznaczenie algorytmu sterującego dla systemu ZSEE to zadanie dla partnera naukowego projektu, czyli naukowców z AGH. Z kolei Wodociągi Krakowskie zrealizują część praktyczną projektu, która składa się z takich etapów, jak przygotowanie projektów oraz wykonanie instalacji odzysku ciepła odpadowego, przygotowanie projektów i montaż instalacji turbiny wodnej, wykorzystującej potencjał odpływających z oczyszczalni ścieków oczyszczonych, oraz dwóch turbin gazowych (o mocy po 65 kW) i wreszcie – obniżenie energochłonności pomp i dmuchaw.

Wyniki badań będą analizowane na podstawie różnych pomiarów, z których dane trafią do wspólnego systemu monitoringu wszystkich obiektów – ZSEE. Głównym mierzalnym efektem w przypadku mikroelektrowni wodnej oraz turbin zasilanych biogazem będzie wyprodukowana przez nie dodatkowa energia elektryczna. W przypadku analizy i weryfikacji istniejących systemów sterowania napędami elektrycznymi mierzalnymi efektami będzie oszczędność energii po implementacji projektu. Aby uzyskać planowane oszczędności w zużyciu energii, planuje się modernizację istniejących systemów sterowania oraz montaż dodatkowych układów pomiarowych. Wykonana analiza opcji pozwoli skupić się tylko na najbardziej korzystnych wariantach realizacji przedsięwzięcia, wskazując kilka najefektywniejszych rozwiązań, które zostaną poddane wnikliwej analizie na etapie dalszych prac badawczych i rozwojowych. Głównym celem przedsięwzięcia będzie poprawa

efektywności energetycznej dla poszczególnych obiektów poddanych modernizacji. Wnioski płynące z przeprowadzonych badań będą niezwykle istotne dla dalszego postępu prac.

Obecnie trwa już faza realizacji. Wykonawcy, wyłonieni w drodze przetargów, rozpoczęli prace związane z montażem turbiny wodnej oraz turbin zasilanych biogazem.

### Opis elementów projektu

Opis poszczególnych elementów projektu przedstawił nam dr inż. Tadeusz Zaba, dyrektor produkcji MPWiK SA w Krakowie.

### Turbina na zrzucie oczyszczonych ścieków

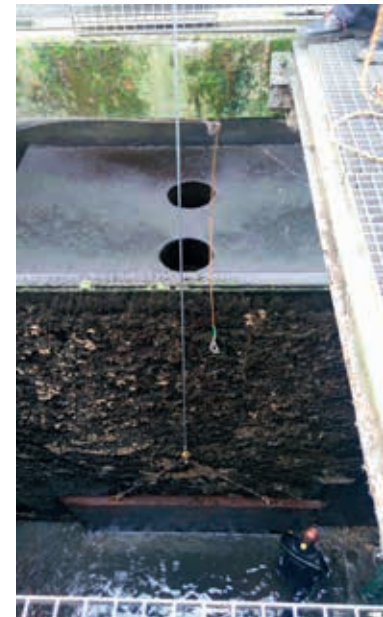
Największym gabarytowo urządzeniem jest turbina Kaplana o mocy ok. 65 kW wraz z oprzyrządowaniem, która posłuży do wykorzystania potencjału energetycznego wynikającego z różnic poziomu na zrzucie ścieków oczyszczonych z oczyszczalni Płaszów do Drwiny (średni przepływ ok. 2 m<sup>3</sup>/s). Zanim przystąpiono do realizacji projektu, w ramach grantu wykonano niezbędne obliczenia, a następnie podjęto decyzję o wyborze miejsca lokalizacji turbiny. Wybór miejsca montażu był istotny dla maksymalnego wykorzystania spadku, który wynosi ok. 3,7 m.

Inwestycja pozwoli na odzysk energii grawitacyjnego zrzutu ścieków oczyszczonych do odbiornika, a wyprodukowana energia elektryczna będzie wtłoczona do systemu energetycznego oczyszczalni i następnie zużywana przez jej obiekty technologiczne. W trakcie realizacji projektu ważnym aspektem jest uniknięcie ograniczeń w zrzucie ścieków oczyszczonych do odbiornika w każdej sytuacji ruchowej (stany powodziowe, awarie, remonty turbiny lub inne przypadki ruchowe). Równie istotne jest zapewnienie właściwego i zgodnego z wymaganiami pomiaru przepływu ścieków na odpływie. W związku z tym na etapie projektowania układu postawiono wymóg, że turbina nie spowoduje ryzyka powstania zakłóceń w zrzucie ścieków oczyszczonych zarówno na etapie wykonawstwa, jak i eksploatacji oraz serwisowania.

Turbina musi zapewnić pracę 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. Wymagany przepływ minimalny przez tur-



Istniejący układ zrzutu ścieków oczyszczonych do odbiornika



Prace przygotowawcze do montażu turbiny

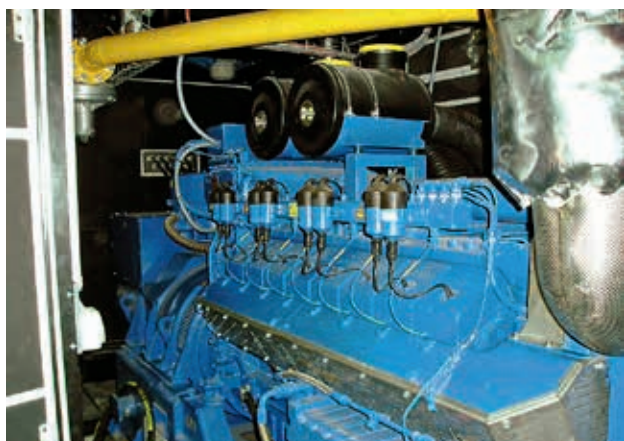
binę, przy którym będzie ona pracować, wynosi 2800 m<sup>3</sup>/h (dla pełnego zakresu wymaganych rzędnych wody dolnej), natomiast wymagany przepływ maksymalny przez pracującą turbinę – nie mniejszy niż 9000 m<sup>3</sup>/h (dla pełnego zakresu wymaganych rzędnych wody dolnej).

Dla niskich przepływów (poniżej zakresu pracy turbiny) konieczne jest zabezpieczenie urządzeń przed uszkodzeniem w wyniku pracy. Dla wysokich przepływów (powyżej zakresu pracy turbiny) wymaga się, aby pracowała z maksymalnym przepływem, a nadmiar ścieków oczyszczonych przepływał do odbiornika poza turbiną.

Turbina wyposażona będzie w układ automatyki i sterowania z nadrzędnego systemu ZSEE. W zakres sterowania będzie wchodzić m.in. zadawanie nastaw, parametrów pracy, włączanie lub wyłączenie turbiny.

### Generator termoelektryczny (GTE)

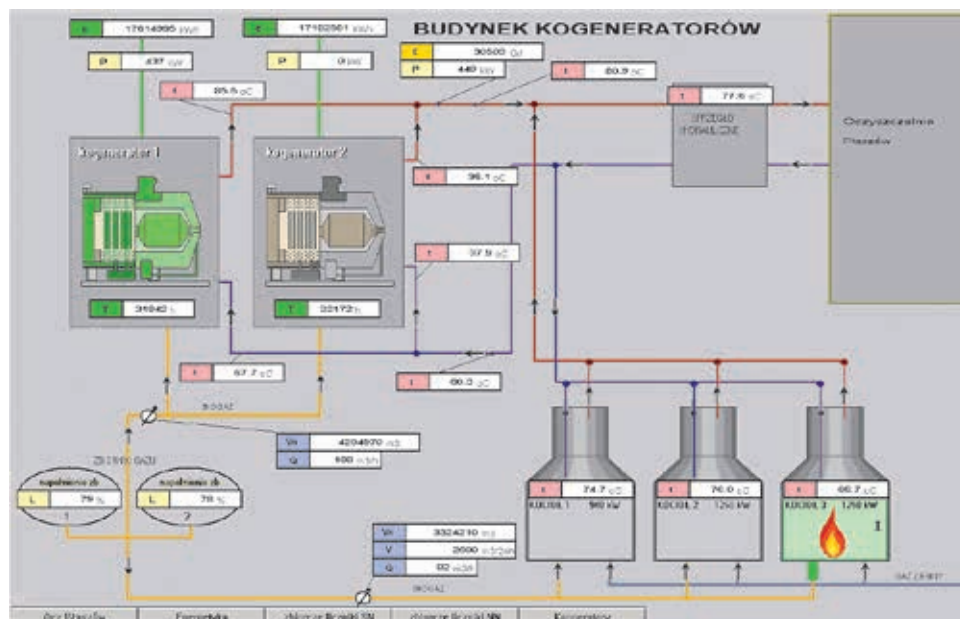
Jednym z innowacyjnych elementów projektu jest generator termoelektryczny (GTE), który zostanie zamontowany na ciągu spalinowym silnika kogeneracyjnego, zasilanego biogazem pochodzącym z fermentacji osadów ściekowych.



Silnik jednostki kogeneracyjnej o mocy cieplnej 810 kW

GTE wykorzystuje materiał termoelektryczny, który pozwala na zamianę strumienia ciepła w użyteczną energię elektryczną w strukturze materiału bez żadnych elementów ruchomych. Zasada działania modułu termoelektrycznego opiera się na efekcie Seebecka, tj. potencjał elektryczny indukowany jest różnicą temperatur. Generator termoelektryczny składa się z dwóch odmiennie domieszkowanych półprzewodników o współczynniku Seebecka o przeciwnych znakach. Najbardziej korzystne warunki pracy to 300–400 °C po stronie ciepłego złącza i 20–60 °C po stronie zimnej (obieg chłodniczy).

Przy pracy układu kogeneracyjnego zwykle istnieją duże nadwyżki ciepła, które należy wykorzystać.



Schemat obiegu ciepła w oczyszczalni Płaszów

Montaż generatora termoelektrycznego przewidziano w hali kogeneratorów budynku energetycznego. Budynek składa się z trzech wydzielonych części: rozdzielni NN i SN, hali kogeneratorów i kotłowni.

Zastosowany przekształtnik energii będzie wyposażony w funkcję śledzenia mocy maksymalnej MMPT ze względu na przewidywane zmienne warunki pracy generatora oraz pełny monitoring i rejestrację w systemie SCADA parametrów instalacji, m.in. temperatury wody ciepłowniczej na wejściu i wyjściu z generatora, przepływu wody ciepłowniczej, przepływu i temperatury spalin w kanale przed i za generatorem oraz parametrów elektrycznych.

### Turbiny na biogaz

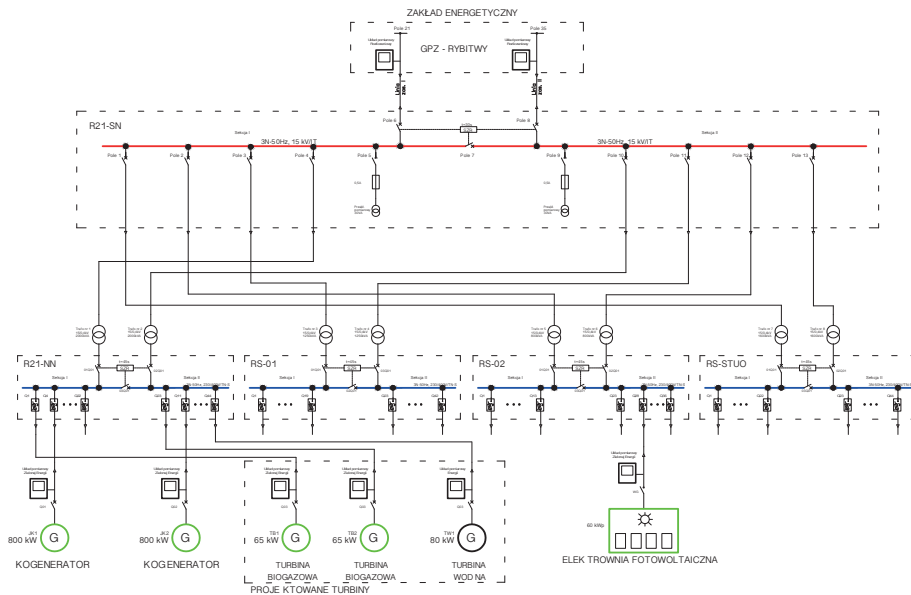
Kolejnym elementem systemu jest montaż dwóch turbin na biogaz uzyskiwany z fermentacji osadów ściekowych. Turbiny zostaną umieszczone w hali kogeneratorów. Ich zadaniem będzie wykorzystanie okresowego nadmiaru biogazu, który nie może być spalony w jednostkach kogeneracyjnych, w celu generowania dodatkowej energii elektrycznej na potrzeby oczyszczalni.



Turbiny biogazowe przygotowane do montażu w pomieszczeniu kogeneratorów

### Zintegrowany system efektywności energetycznej

Sercem systemu jest ZSEE, który wraz ze wszystkimi układami wspomagającymi poprawi efektywność energetyczną oczyszczalni Płaszów. Będzie sterował monitoringiem



Schemat układu elektrycznego oczyszczalni Płaszów po realizowaniu projektu

sprawności układu i optymalizował pracę układów technologicznych zakładu.

Całość systemu została podzielona na poszczególne warstwy odzwierciedlające układ logiczny i funkcjonalny zakładu. System będzie połączony z wszystkimi wymaganymi elementami istniejącego układu automatyki oczyszczalni, systemem SCADA oraz zintegrowany z istniejącą farmą fotowoltaiczną, kogeneratorem oraz nowo budowanymi turbinami gazowymi i turbiną wodną.

W celu poprawy efektywności energetycznej przepompowni pierwszego i drugiego stopnia przewidziano wymianę wszystkich falowników. Falowniki muszą posiadać wbudowany moduł logiczny, za pomocą którego będzie można stworzyć logikę sterującą pracą układu napędowego oraz funkcje diagnostyki predykcyjnej, kontrolującej stan zużycia wentylatorów chłodzących, wyjść przekaźnikowych oraz czas eksploatacji łożysk silnika.

Ponadto w ramach projektu powstanie pakiet programów pozwalających w efektywny sposób stworzyć oraz rozwijać aplikacje przemysłowe na wielu poziomach zarządzania informacją.

## Podsumowanie

„Projekt składa się z kilku przedsięwzięć, których zadaniem jest wytwarzanie energii elektrycznej, ograniczenie zużycia energii elektrycznej oraz optymalizacja pracy oczyszczalni, aby przy zachowaniu wszystkich parametrów technologicznych, uzyskać częściową pasywność obiektu, co pozwoli na ograniczenie zakupów energii elektrycznej u dostawców, dając wymierne korzyści finansowe” – podkreśla dyr. Tadeusz Żaba i szczegółowo wymienia korzyści, które łatwo przeliczyć na kilowaty, a więc i złotówki.

I tak, moc turbiny wodnej określona we wniosku to 45 kW, w skali roku turbiny dostarczą ok. 360 MWh energii elektrycznej. Analizując średnie przepływy, można stwierdzić, że rzeczywista wielkość turbiny będzie większa, tak aby umożliwić wykorzystanie okresów zwiększonych przepływów przez oczyszczalnię w porze deszczowej. Szacuje się, że będzie to 60 kW, co umożliwi zwiększenie produkcji energii elektrycznej.

Oszczędności wynikające z montażu turbin i wykorzystania nadmiaru biogazu w oczyszczalni pozwolą na uzyskanie dodatkowej produkcji energii elektrycznej w wysokości 1140 MWh/rok.

Oszczędności wynikające z usprawnienia systemu sterowania pracą urządzeń technologicznych dotyczą dwóch głównych aspektów wpływających na zużycie energii elektrycznej. Pierwszy z nich to pompy.

W obiekcie pracują pompy pierwszego i drugiego stopnia. Zainstalowanych jest 10 pomp o mocy 132 kW. Zwykle pracuje ich sześć. Według przewidywań, wprowadzone modyfikacje przyniosą oszczędności na poziomie 15%, w przeliczeniu będzie to ok

120 kW. Rocznie daje to ok. 1000 MWh oszczędności w zużyciu energii elektrycznej.

W przypadku dmuchaw zmiana sposobu sterowania pracą reaktorów pozwoli na uzyskanie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej na poziomie 20%. W oczyszczalni zamontowanych jest sześć dmuchaw o mocy 400 kW. Zwykle pracują trzy, cztery z nich. Po zastosowaniu planowanych zmian zapotrzebowanie dmuchaw na moc elektryczną obniży się o ok. 240 kW. Roczne oszczędności wyniosą 2100 MWh.

O efektach projektu decyduje suma dwóch głównych elementów:

1. Produkcja dodatkowej energii elektrycznej i jej zużycie w obiekcie w miejsce energii zakupywanej u dostawcy w skali roku: 1500 MWh.
2. Obniżenie zakupów energii wynikające z oszczędności: 3100 MWh/rok.

Analizując przewidywanie zyski z wdrożenia systemu pasywnego, można stwierdzić, że poniesione nakłady zostaną odzyskane w ciągu od pięciu do siedmiu lat. Przy czym do obliczeń przyjęto wartości poszczególnych parametrów wynikające ze średniej pracy obiektu na aktualnych parametrach technologicznych.

W wyliczeniach pominięto inne korzyści, które uzyska się po wdrożeniu wszystkich zaplanowanych w projekcie przedsięwzięć. Do korzyści tych można zaliczyć m.in. kwestie związane z ochroną środowiska, takie jak ograniczenie emisji czy też zmniejszenie efektu cieplarnianego, a warto dodać, że zysk dla środowiska to uzyskana roczna redukcja emisji CO<sub>2</sub> na poziomie 8634,4 t, SO<sub>2</sub> – 86,3 t, NO<sub>x</sub> – 34,5 t.

Jak wynika z opisu, istota oszczędności tkwi w racjonalizacji zużycia energii oraz zmianie sposobu gospodarowania zasobami, a nie kapitałochłonnej budowie nowych ciągów technologicznych. Instalacja pilotażowa nie zapewni pasywnego charakteru płaszowskiego zakładu, ale w dalszej perspektywie jest to możliwe do osiągnięcia. Większość oczyszczalni dysponuje dużym i niewykorzystanym potencjałem energetycznym, co daje szansę na jego wykorzystanie w przyszłości i uzyskanie oszczędności energii.

