

# Ograniczenie emisji i poprawa efektywności energetycznej oczyszczalni Kujawy w Krakowie



tekst: **ANNA BIEDRZYCKA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne  
zdjęcia: **WODOCIĄGI MIASTA KRAKOWA SA**

W krakowskiej oczyszczalni Kujawy zakończyła się modernizacja węzłów przeróbki osadu nadmiernego i biogazu. Oczyszczalnia produkuje teraz więcej zielonej energii. Zyskuje na tym środowisko, gdyż mniejszy pobór energii elektrycznej z systemu dystrybucyjnego, a więc pochodzącej ze spalania węgla, oznacza mniejszą emisję gazów cieplarnianych. Oszczędności będą mieć Wodociągi Miasta Krakowa, mogąc kupować mniej energii konwencjonalnej i ograniczając jej straty.

System kanalizacyjny Krakowa jest obsługiwany przez dwie centralne oczyszczalnie ścieków oraz pięć oczyszczalni lokalnych. Największa jest oczyszczalnia Płaszów, która w porze bezdeszczowej przyjmuje ok. 160 tys. m<sup>3</sup> ścieków na dobę. Przez oczyszczalnię Kujawy średniobowo przepływa ok. 55 tys. m<sup>3</sup> ścieków pochodzących głównie z terenu Nowej Huty. Właśnie w tym zakładzie przeprowadzono modernizację części osadowej (odpowiednie przygotowanie osadu nadmiernego i wyrównanie jego przepływu) i biogazowej (nowe jednostki kotłowe).

Umowę z wykonawcą podpisano w grudniu 2019 r., a kontrakt w formule projektuj i buduj realizowano do maja 2022 r. W ramach inwestycji przeprowadzono modernizację węzła przeróbki osadu, dobudowano zbiornik wyrównawczy osadu nadmiernego oraz zamontowano nowe wirówki zagęszczające i odwadniające. Modernizacja węzła biogazowego polegała natomiast na budowie nowej odsiarczalni z możliwością usuwania organicznych związków krzemu, wymianie zbiornika biogazu na zbiornik o większej pojemności buforowej, budowie pochodni gazowej oraz montażu dodatkowych jednostek wytwarzających energię elektryczną i ciepłą.

## Zbiornik wyrównawczy osadu nadmiernego

Jednym z nowych obiektów ciągu technologicznego gospodarki osadowej jest zbiornik wyrównawczy osadu nadmiernego (ryc. 1), który umożliwia ciągłą pracę wirówek zagęszczających bez względu na ilość osadu nadmiernego odprowadzanego z osadników wtórnych. Zadaniem zbiornika jest zapewnienie równomiernego obciążenia wirówek zagęszczających. Wykonany został jako żelbetowy, kołowy, otwarty, lekko zagłębiony w gruncie i wystający ponad poziom projektowanego terenu, o średnicy wewnętrznej 11,0 m. Do zbiornika wyrównawczego

jest kierowany osad nadmierny odprowadzany z osadników wtórnych za pośrednictwem przepompowni recyrkulacyjnej. Zbiornik umożliwia zmagazynowanie odpowiedniej objętości osadu, pozwalającej na ok. dwupółgodzinną pracę obu wirówek lub ok. pięciogodzinną pracę jednej wirówki. W celu wyeliminowania zjawiska wtórnego uwalniania się fosforu z osadu nadmiernego zbiornik został wyposażony w dwie zatapialne strumienice napowietrzające o wydajności 100–50 m<sup>3</sup>/h. Ponadto zamontowano centralnie mieszańdo wolnoobrotowe o prędkości obrotowej śmigła 30–40 obr./min. Praca strumienicy i mieszańdo jest sterowana w zależności od stopnia napełnienia zbiornika z możliwością sterowania pracą urządzeń w zadanych cyklach czasowych.



Ryc. 1. Zbiornik wyrównawczy osadu nadmiernego

## Budynek zagęszczania i odwadniania osadu

W istniejącym budynku pras osadu zlikwidowano dwie prasy taśmowe, na których był odwadniany osad przefermentowany, oraz przenośniki śrubowe odbierające odwodniony osad z pras. Zdemontowano również macerator osadu i dwie pompy nadawy osadu. W ich miejsce zainstalowano dwie wirówki dekantacyjne – zagęszczającą i odwadniającą – wraz z niezbędnymi instalacjami towarzyszącymi (ryc. 2). Zagęszczony osad nadmierny jest kierowany do zbudowanego w tym celu stalowego zbiornika, ustawionego pod wylotem wirówki. Zbiornik posiada specjalnie ukształtowane dno dla ułatwienia spływania osadu od strony wlotu z wirówki do pompy tłoczącej go do węzła fermentacji. Pompa jest sterowana sygnałem radarowej sondy pomiaru poziomu napełnienia zbiornika.



Ryc. 2. Wirówki zagęszczająca (po prawej) i odwadniająca

Zagęszczony osad nadmierny jest kierowany do wydzielonych komór fermentacji (WKF), gdzie wymieszany z osadem wstępnym zostaje poddany procesowi fermentacji, którego wynikiem jest m.in. produkcja biogazu.

## Zbiornik biogazu

Biogaz wytwarzany w istniejących komorach fermentacyjnych kierowany jest do nowego niskociśnieniowego zbiornika dwumembranowego (ryc. 3), stanowiącego pierwszy obiekt przebudowanego systemu gospodarki biogazowej. Nowy zbiornik biogazu o pojemności 2380 m<sup>3</sup> zastąpił funkcjonujący o pojemności 330 m<sup>3</sup>, który z uwagi na wyeksploatowanie oraz zbyt małą pojemność magazynową został rozebrany. Zbiornik oraz urządzenia towarzyszące (dwa wentylatory powietrza i bezpiecznik ciecyczny) spełniają dwie funkcje: magazynowania nadmiaru biogazu w okresach wzrostu jego produkcji w komorach fermentacyjnych oraz stabilizacji przepływu i ciśnienia w sieci biogazu.

Zbiornik zapewnia ok. 11 mbar nadwyżki ciśnienia w sieci biogazu. Gwarantuje to bezpieczną pracę układu w całym zakresie ciśnienia eksploatacyjnego dla WKF-ów. Został wyposażony w linkowy pomiar poziomu z przetwornikiem monitorującym stopień napełnienia. Pomiar pozwala na niezawodną i pewną kontrolę napełnienia zbiornika oraz umożliwia łatwe wykonywanie prac serwisowych bez konieczności ingerencji w jego powłoki. Wartość poziomu napełnienia zbiornika steruje pracą pochodni biogazu oraz pracą wentylatora biogazu zlokalizowanego przy instalacji uzdatniania biogazu. Gdy poziom napełnienia zbiornika spadnie poniżej 5%, następuje automatyczne wyłączenie

wentylatora biogazu oraz zatrzymanie aktualnie pracujących urządzeń zasilanych biogazem (turbina gazowa, agregaty kogeneracyjne, kotły wodne). Gdy poziom napełnienia zbiornika osiągnie 15%, sygnał sterujący umożliwi ponowne włączenie wentylatora biogazu oraz odbiorników biogazu zgodnie z zakładanym priorytetem ich pracy.



Ryc. 3. Zbiornik biogazu

Głównym zadaniem wentylatorów jest utrzymanie stałego, właściwego stopnia napięcia zewnętrznej powłoki zbiornika przy jednoczesnym zapewnieniu stałej wymiany powietrza w przestrzeni pomiędzy membranami oraz stałego ciśnienia w zbiorniku biogazu. Wentylatory są zlokalizowane na fundamencie obok zbiornika. W warunkach normalnych pracuje jeden wentylator, drugi stanowi rezerwę czynną. Bezpiecznik ciecyczny (ciecz zamykająca – płyn na bazie glikolu) służy do zabezpieczenia zbiornika biogazu przed nadmiernym wzrostem ciśnienia. Projektowe ciśnienie robocze wewnątrz zbiornika wynosi 20 mbar (max. 23 mbar). W przypadku wzrostu ciśnienia do poziomu ok. 28 mbar zadziała bezpiecznik, powodując wyrzut nadmiaru biogazu do otoczenia.

## Pochodnia biogazu

Pochodnia biogazu (ryc. 4) została zbudowana w miejscu dotychczas eksploatowanej pochodni. Jej zadaniem jest spalanie nadmiaru produkowanego w komorach fermentacyjnych biogazu. W przypadku gdy produkcja ta przekroczy zapotrzebowanie odbiorników lub gdy nastąpi okresowa przerwa w pracy odbiorników biogazu, a zbiornik biogazu będzie całkowicie wypełniony, nadwyżka biogazu zostanie spalona, przy czym możliwe jest spalanie nieoczyszczonego biogazu. Pochodnia pracuje w układzie automatycznym i w czasie eksploatacji nie wymaga obsługi. Wszystkie funkcje, takie jak zapalenie pochodni, kontrola płomienia oraz odcięcie dopływu biogazu, są realizowane automatycznie.

Praca pochodni jest sterowana według wskazań czujnika poziomu napełnienia zbiornika biogazu. W przypadku gdy napełnienie zbiornika osiągnie poziom 90%, nastąpi włączenie pochodni. Natomiast gdy poziom biogazu w zbiorniku spadnie poniżej 80%, pochodnia zostanie wyłączona. Jeśli nie nastąpi zapalenie pochodni i będzie następował dalszy wzrost wypełnienia zbiornika, po osiągnięciu 95% wygenerowany zostanie na stanowisku operatorskim sygnał alarmowy o przekroczeniu maksymalnego poziomu w zbiorniku. Gdyby zbiornik wypełnił



Ryc. 4. Pochodnia biogazu

się w 100%, będzie systematycznie wzrastać ciśnienie robocze na membranie przez jej stopniowe, coraz mocniejsze naprężanie. Po osiągnięciu ok. 28 mbar nadciśnienia dojdzie do wyrzutu biogazu przez bezpiecznik cieczerwowy.

### Instalacja uzdatniania biogazu

Do systemu uzdatniania (ryc. 5) biogaz podawany jest za pośrednictwem wentylatora. Początkowo trafia do węzła podnoszenia ciśnienia biogazu, którego zadaniem jest kontrola parametrów biogazu w sieci (pomiar ciśnienia na ssaniu i tłoczeniu) oraz podniesienie ciśnienia biogazu do wartości właściwej dla agregatów kogeneracyjnych, kotłów wodnych i kompresora sprężającego biogaz przed turbinami gazowymi.

Po podniesieniu ciśnienia biogaz jest tłoczony do instalacji osuszania i usuwania siarkowodoru oraz siloksanów. Praca wentylatora jest sterowana zależnie od poziomu napełnienia zbiornika biogazu. Zmiana wydajności wentylatora (w zależności od obciążenia oraz liczby oraz pracujących odbiorników biogazu) odbywa się za pośrednictwem falownika. Proces osuszania przebiega dwustopniowo w zespole dwóch wielostrumieniowych wymienników ciepła wykonanych ze stali izolowanych termicznie. W pierwszym etapie osuszania biogaz zostaje schłodzony. Czynnikiem chłodzącym jest roztwór glikolu (krążący w obiegu zamkniętym). Zastosowanie roztworu glikolu zapewnia wysoką niezawodność pracy instalacji osuszania (moduł schładzania) nawet w przypadku wystąpienia bardzo niskich temperatur (do  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). W drugim etapie procesu osuszania następuje podgrzanie biogazu. Nośnikiem ciepła wykorzystywanym do podgrzewania w wymienniku jest woda grzewcza doprowadzona do instalacji z wewnętrznej sieci ciepłowniczej znajdującej się w oczyszczalni. Następnie biogaz trafia do filtrów ze złożem na bazie węgla aktywnego – jeden służy do redukcji siarkowodoru, drugi do redukcji związków krzemu (siloksanów). Filtry są połączone szeregowo z możliwością pracy obu filtrów, jednego (wybranego) z nich lub żadnego. Każdy filtr, będący stalowym zbiornikiem, podzielony jest na dwie komory: górną i dolną o identycznych pojemnościach  $V = 1500\text{ dm}^3$ . W obu komorach

znajduje się złożo. Złożo w komorze górnej jest odcięte od dolnej części filtra przegrodą otwieraną zaworem zlokalizowanym pod górnym włazem zasypowym. Konstrukcja przegrody między komorami zapewnia przepływ biogazu przy zamkniętym zaworze. Dzięki takiemu rozwiązaniu istnieje możliwość wymiany tylko bardziej obciążonego złoża znajdującego się w dolnej komorze każdego z filtrów.

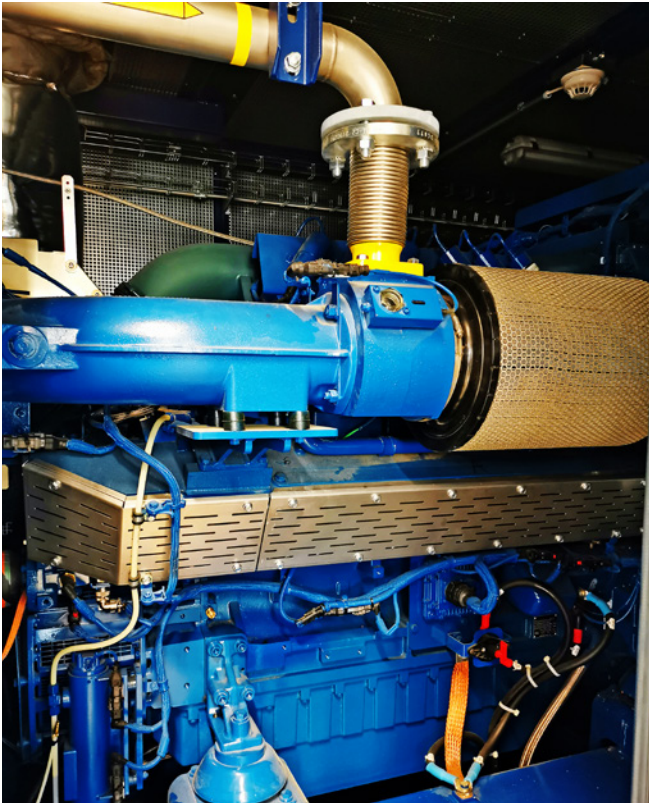


Ryc. 5. Instalacja uzdatniania biogazu

Przyjęto następujące priorytety pracy urządzeń zasilanych biogazem: agregaty kogeneracyjne, turbina gazowa, kotły wodne. Wszystkie te urządzenia pracują do momentu, gdy poziom napełnienia zbiornika biogazu spadnie do 50%. Dalszy spadek poziomu napełnienia zbiornika spowoduje przełączenie kotłów wodnych na spalanie gazu ziemnego. Nowo zamontowany kogenerator o mocy elektrycznej 600 kW (ryc. 6 i 7) współpracuje z już istniejącymi dwiema jednostkami o mocy elektrycznej 193 kW (moc cieplna 214 kW) oraz jedną o mocy elektrycznej 173 kW (moc cieplna 289 kW). Zamontowana jednostka kogeneracyjna oraz turbina zostały podłączone do systemu energetycznego oczyszczalni za pośrednictwem stacji 0,4/15 kV z transformatorem olejowym o mocy 1000 kVA.

Jednostki kogeneracyjne oraz turbina pracują ze 100-procentowym obciążeniem. W przypadku pracy wszystkich agregatów możliwe jest obniżenie obciążenia wybranych generatorów do 50%. W przypadku spadku napełnienia zbiornika poniżej 25% turbina będzie pracowała ze 100-procentowym obciążeniem, natomiast obciążenie agregatów zostanie zmniejszone do 50%. Wraz ze zmniejszaniem obciążenia oraz pracujących odbiorników biogazu będzie następowała zmiana wydajności wentylatora biogazu.

W przypadku napełniania zbiornika biogazu tryb pracy urządzeń jest odwrotny niż podczas stopniowego opróżniania zbiornika.



Ryc. 6. Silnik gazowy



Ryc. 7. Nowa jednostka kogeneracyjna



Ryc. 8. Turbina zasilania biogazem

Minimalny poziom napełnienia zbiornika biogazu, przy którym następuje włączenie urządzeń, wynosi 15%.

W celu zapewnienia elastycznej pracy systemów generujących energię elektryczną oraz maksymalnego wykorzystania biogazu zgromadzonego w zbiorniku niezależnie od jednostki kogeneracyjnej dodatkowo została zbudowana turbina biogazowa o mocy elektrycznej 200 kW (ryc. 8).

Turbina jest włączana w okresach, gdy występuje nadmiar biogazu. W ramach inwestycji zamontowano również dwa nowe kotły wodne o mocy 560 kW każdy (ryc. 9). Zastąpiły one eksploatowane od ponad 20 lat cztery kotły o mocy 460 kW. Kotły zasilane są zarówno biogazem, jak i gazem ziemnym. Są uruchamiane w okresie niskich temperatur. Poza tym umożliwiają przeprowadzanie rozruchu technologicznego części biologicznej, bowiem fermentacja beztlenowa w WKF-ach musi odbywać się w temperaturze ok. 32 °C.



Ryc. 9. Nowe kotły kondensacyjne

Likwidacja starych jednostek i zastąpienie ich dwoma nowoczesnymi kotłami, zajmującymi mniej miejsca, pozwoliła na zmieszczenie w hali kotłów nowego kogeneratora.

## Podsumowanie

Po kilku miesiącach eksploatacji zmodernizowanego ciągu wytwarzania biogazu ocenia się, że inwestycja wydatnie przyczyniła się do zwiększenia produkcji energii elektrycznej w wyniku wzrostu produkcji biogazu o 10–15% w porównaniu z okresem sprzed modernizacji. Wymiana zbiornika biogazu umożliwiła nie tylko zwiększenie zmagazynowanej objętości biogazu, ale również poprawę elastyczności systemu i zwiększenie możliwości programowania czasu pracy jednostek wytwórczych, uwzględniając aktualne zapotrzebowanie na energię oraz jej koszt. Powoduje to prawie zupełny brak spalania biogazu w pochodni, co przyczynia się do zwiększenia efektywności energetycznej obiektu. Dzięki wprowadzeniu pełnego monitoringu produkcji energii elektrycznej i ciepłej możliwe jest dokładne śledzenie pracy jednostek wytwórczych, co również pozwala lepiej wykorzystywać posiadany potencjał. Realizacja inwestycji spowodowała zmniejszenie zakupów energii elektrycznej u dystrybutora o ok. 55%, porównując do okresu sprzed rozruchu, oczywiście przy zachowaniu wszystkich parametrów związanych z przepływem przez oczyszczalnię oraz parametrów określonych w pozwoleniu wodnoprawnym.



Czytaj więcej

[www.wodociagi.krakow.pl](http://www.wodociagi.krakow.pl)

KORZYSTANIE Z ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII WPŁYWA  
NA ŻYCIE NASZE I PRZYSZŁYCH POKOLEŃ.



WODOCIĄGI  
Miasta Krakowa

7 CZYSTA I DOSTĘPNA  
ENERGIA

