

Modernizacja oczyszczalni ścieków Kujawy w Krakowie elementem ograniczania śladu węglowego

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

W oczyszczalni Kujawy, drugim co do wielkości zakładzie oczyszczania ścieków w Krakowie, modernizowane są obiekty oraz elementy sieci osadowej i biogazowej pod kątem maksymalnego wykorzystania biogazu wytwarzanego w procesie oczyszczania ścieków. W ten sposób Wodociągi Miasta Krakowa chcą zmniejszyć ślad węglowy.



Widok ogólny budowy

Można przyjąć, że ślad węglowy w przypadku oczyszczalni ścieków stanowi sumę emisji gazów cieplarnianych emitowanych w procesie technologicznym. Duża jego część jest związana z poborem znacznych ilości energii elektrycznej powstającej głównie w procesie spalania węgla.

Szacuje się, że działania związane z oczyszczaniem ścieków odpowiadają za ok. 3% zużycia energii elektrycznej w krajach rozwiniętych, a przeciętna efektywność energetyczna oczyszczalni w Europie wynosi poniżej 50%. Jeżeli przyjmiemy, że produkując 1 MWh energii elektrycznej, wytwarza się ok. 814 kg CO₂, to każda oszczędność energii ma istotne znaczenie dla środowiska. Chcąc zmniejszyć ślad węglowy, przedsiębiorstwa wodociągowe rozwijają energetykę odnawialną, której głównym elementem jest wykorzystanie biogazu powstającego w procesie biologicznego oczyszczania ścieków. Oczywiście nie wyklucza to innych rozwiązań umożliwiających ograniczenie zakupu energii. Nowe technologie i poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań skoncentrowanych głównie na zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej pochodzącej ze spalania kopaliny są podstawą realizowanych strategii ograniczania emisji gazów cieplarnianych.

Taki cel przyświeca również modernizacji oczyszczalni Kujawy. Redukując pobór energii elektrycznej z systemu dystrybucyjnego, oczyszczalnia krok po kroku zbliża się technologicznie do stanu optymalnego, tj. pasywnego. W 2020 r. zakład wyprodukował 3165 MWh energii elektrycznej, co pokryło jego zapotrzebowanie energetyczne w 39,8% i w 100% zapotrzebowanie na ciepło. Obecnie energia jest wytwarzana w trzech

pracujących jednostkach kogeneracyjnych. Dwie jednostki posiadają moc elektryczną 193 kW (moc cieplna 214 kW), a jedna moc elektryczną 173 kW (moc cieplna 289 kW). Po modernizacji wskaźnik samowystarczalności energetycznej powinien wynieść ok. 70%.

W 2020 r. przez oczyszczalnię ścieków Kujawy przepłynęło 20 134 721 m³ ścieków pochodzących przede wszystkim z dzielnicy Nowa Huta. Dla oczyszczenia takiej objętości ścieków zakupiono 4775 MWh energii elektrycznej. Pomimo iż od czasu oddania zakładu do eksploatacji upłynęły 22 lata, jest on nadal bardzo nowoczesny. Duży wpływ na to miały systematycznie prowadzone modernizacje. Ostatnia z nich miała miejsce w latach 2013–2015. Objęła ona budowę czwartej nitki technologicznej, żwirownika, wirówki odwadniającej i wirówki zagęszczającej, a także nowego systemu napowietrzania komór osadu czynnego. W 2017 r. pozyskano fundusze na kolejną modernizację. Umożliwiło to rozpoczęcie procedury przetargowej i wybór wykonawcy, z którym pod koniec 2019 r. podpisano umowę w formule zaprojektuj i zbuduj. Tym razem modernizacja dotyczy usprawnienia przeróbki osadu przez budowę zbiornika wyrównawczego osadu nadmiernego, montaż nowych urządzeń zagęszczających i odwadniających, wymianę osprzętu oraz urządzeń pomiarowych.

Odpowiednie przygotowanie osadu nadmiernego i wyrównanie jego przepływu przyczyni się do zwiększenia produkcji biogazu. W ramach przewidzianych prac wykonana zostanie również modernizacja i rozbudowa elementów ścieżki biogazowej. Zakres inwestycji przewiduje budowę nowej odsiarczalni pozwalającej na usuwanie organicznych związków krzemu, wymianę zbiornika biogazu na zbiornik o większej pojemności buforowej, budowę pochodni gazowej oraz umożliwienie większej elastyczności pracy jednostek wytwórczych.

Po ostatniej rozbudowie i modernizacji oczyszczalni nastąpił znaczny wzrost produkcji biogazu – w 2020 r. wyprodukowano go 3 315 009 Nm³, przy czym obecnie działające obiekty energetyczne nie pozwalają na jego pełne wykorzystanie. Wyprodukowany w WKF-ach (wydzielone komory fermentacyjne) biogaz będzie kierowany do dwupowłokowego zbiornika biogazu, zlokalizowanego w pobliżu istniejącego zbiornika, który docelowo zostanie zlikwidowany. Nowy zbiornik ma mieć pojemność buforową 2360 m³, co ograniczy częstotliwość uruchamiania pochodni. Wymieniona zostanie także pochodnia biogazu, której praca będzie ściśle uzależniona od produkcji

i ilości magazynowanego biogazu w zbiorniku buforowym. Większa produkcja biogazu wraz z możliwościami jego magazynowania pozwoli na montaż turbiny biogazowej o nominalnej mocy elektrycznej 200 kW, agregatu kogeneracyjnego oraz wymianę starych kotłów gazowych na nowe jednostki.

Węzeł gospodarki osadowej

Obecnie osad nadmierny z ciągu ściekowego kierowany jest z pompowni osadu recykulowanego rurociągami wyprowadzonymi z obu pompowni do budynków zagęszczania i odwadniania. Osad nadmierny zagęszczany jest na wirówce zagęszczającej, a w przypadku jej awarii pracę przejmują stare urządzenia zagęszczające, tj. zagęszczarki taśmowe. W ramach projektu przewidziano demontaż dwóch pras odwadniających i zastąpienie ich wirówką do zagęszczania osadu nadmiernego oraz uzupełnienie linii odwadniania osadu o dodatkową wirówkę odwadniającą. Każda z wirówek będzie wyposażona we własną szafę sterowniczą z dużym panelem operatorskim. Szafy te będą połączone z systemem SCADA za pośrednictwem protokołu PROFINET.

Aktualnie system odwadniania jest nierównomiernie obciążony ze względu na wahające się w ciągu doby przepływy ścieków przez oczyszczalnię. Taki nierównomierny rozkład osadu uniemożliwia ciągłą pracę urządzeń zagęszczających, a w konsekwencji przyczynia się do ich szybszego zużycia i zmiennego obciążania komór fermentacyjnych. W celu wyrównania obciążenia zostanie zbudowany zbiornik wyrównawczy wyposażony w system napowietrzania, tak aby wykluczyć ponowne uwalnianie się fosforu skumulowanego w osadzie czynnym. Zagęszczony osad nadmierny będzie kierowany do zamkniętych komór fermentacyjnych, gdzie wymieszany z osadem wstępnym zostanie poddany procesowi fermentacji, którego wynikiem jest produkcja biogazu.

Jednym z nowych obiektów w ciągu technologicznym jest zbiornik wyrównawczy osadu nadmiernego, który ma umożliwić ciągłą pracę wirówek zagęszczających (nowo projektowanej i istniejącej) bez względu na ilość osadu nadmiernego odprowadzanego z osadników wtórnych. Jest to obiekt żelbetonowy, przykryty dachem z laminatu, zagłębiony w gruncie na 1,85 m i wystający 5,0 m ponad poziom projektowanego terenu. Osad nadmierny do zbiornika będzie doprowadzany rurociągiem DN 150, odprowadzenie osadu nadmiernego do zagęszczania będzie odbywać się rurociągiem DN 200 (przy dnie zbiornika). W zbiorniku będzie zainstalowany również rurociąg przelewowy. Wszystkie przewody zostaną wykonane z rur stalowych nierdzewnych. Równomierne wymieszanie osadu ma zapewnić centralnie umieszczone śmigłowe mieszadło wolnoobrotowe. Aby wyeliminować wtórne uwalnianie fosforu z osadu nadmiernego, zostaną zainstalowane dwie zatapialne strumienice napowietrzające. Praca strumienic i mieszadła będzie sterowana w zależności od napełnienia zbiornika (sonda pomiaru poziomu) z możliwością sterowania pracą urządzeń w zadanych cyklach czasowych.

Przy nowym zbiorniku wyrównawczym osadu nadmiernego przewiduje się wykonanie nowej komory przyzbiornikowej. W jej części suchej zostaną zamontowane pompy zasilające (pracująca i rezerwowa) o wydajności 50–100 m³/h oraz armatura regulująco-odcinająca na przewodach doprowadzających osad do zbiornika i na przewodzie odprowadzającym go. Osad

wypełniający zbiornik będzie pobierany dwoma rurociągami osadu nadmiernego z dwóch istniejących budynków równocześnie, z możliwością odcięcia dowolnego z nich. W przypadku awarii jednej z pomp pracę przejmie pompa rezerwowa. Odprowadzenie osadu nadmiernego ze zbiornika ma odbywać się jednym rurociągiem z dna zbiornika, umożliwiając powrót zmagazynowanego osadu nadmiernego na pierwotną trasę prowadzącą do budynków zagęszczania.

W istniejącym budynku pras osadu zlikwidowane zostaną dwie prasy taśmowe, na których obecnie odwadniany jest osad prefermentowany, oraz przenośniki śrubowe odbierające odwodniony osad z pras. Dodatkowo wraz z likwidacją urządzeń odwadniających nastąpi demontaż maceratora osadu, dwóch pomp nadawy osadu oraz dwóch rurociągów osadu prefermentowanego pomiędzy likwidowanymi urządzeniami – pompami i prasami. W miejsce zdemontowanych urządzeń w budynku odwadniania zostaną zabudowane dwie wirówki dekantacyjne: zagęszczająca i odwadniająca wraz z instalacjami towarzyszącymi.

Do stacji zagęszczania osad nadmierny będzie kierowany nowo zbudowanym rurociągiem (ze studni zasuw). W pomieszczeniu wirówek rurociąg z rur stalowych nierdzewnych DN 150 zostanie poprowadzony w nowym kanale technologicznym. Do stacji odwadniania trafi osad prefermentowany (z istniejących zbiorników osadu prefermentowanego będzie podawany do wirówki za pomocą zespołu składającego się z maceratora i pompy śrubowej w podziemnej części budynku zagęszczania i odwadniania osadu), a odwodniony osad systemem przenośników transportowany do istniejącego pomieszczenia kontenerów. Nowa część zagęszczania i odwadniania pracować będzie równoległe z częścią istniejącą.

Z wirówką odwadniającą będzie współpracować trzykomorowa, przepływowa stacja przygotowania i dozowania polielektrolitu, przystosowana do roztrzawania polielektrolitu w postaci emulsyjnej lub proszkowej.

Instalacja do uzdatniania biogazu

Biogaz produkowany w istniejących komorach fermentacyjnych będzie kierowany do nowego, niskociśnieniowego, dwumembranowego (membrana zewnętrzna daje zbiornikowi kształt zewnętrzny, a membrana wewnętrzna tworzy przestrzeń magazynową) zbiornika biogazu o pojemności 2380 m³ (obecny zbiornik posiada pojemność 330 m³). Wraz z urządzeniami towarzyszącymi (wentylatory powietrza oraz bezpiecznik



Instalacja uzdatniania biogazu



Zbiornik biogazu, podłoże

cieczowy) będzie on spełniał funkcję magazynowania nadmiaru biogazu w okresach wzrostu jego produkcji w komorach fermentacyjnych oraz funkcję stabilizacji przepływu i ciśnienia w sieci biogazu.

Dmuchawa zapewni dopływ powietrza do przestrzeni między membranami wewnętrzną i zewnętrzną, utrzymując tym samym ciśnienie biogazu na stałym poziomie, niezależnie od dopływu i odpływu gazu. Zewnętrzna powłoka zapewni również ochronę przed czynnikami atmosferycznymi.

Zbiornik będzie zabezpieczony przed całkowitym opróżnieniem przez ciągły pomiar poziomu napełnienia. Jeżeli poziom napełnienia zbiornika spadnie poniżej 10%, sygnał sterujący spowoduje zatrzymanie pracy urządzeń zasilanych biogazem (agregaty, turbina gazowa, kotły wodne), natomiast kiedy poziom osiągnie 30%, sygnał sterujący umożliwi ponowne włączenie odbiorników biogazu. Zasilanie energetyczne oraz układy automatyki zostaną zlokalizowane w dedykowanej szafie zasilająco-sterowniczej.

Konstrukcja zbiornika zostanie posadowiona na odpowiednio przygotowanym fundamencie, przez który zostaną przeprowadzone przewody wlotowe i wylotowe gazu. Projektowane ciśnienie robocze wewnątrz zbiornika będzie wynosiło 20 milibarów. Przestrzeń biogazowa zostanie połączona rurociągiem z wolno stojącym bezpiecznikiem cieczowym wypełnionym płynem niezamarzającym (glikolem), przez który przy wzroście ciśnienia powyżej 28 milibarów biogaz będzie wydmuchiwany do atmosfery.

Zastosowanie nowego zbiornika biogazu pracującego z ciśnieniem roboczym wynoszącym 20 milibarów sprawia, że nadwyżka ciśnienia w sieci będzie wynosiła ok. 10–11 milibarów rezerwy (dla roboczego ciśnienia w WKF-ach to ok. 35 milibarów), co zapewni większe bezpieczeństwo instalacji w przypadku gwałtownego wzrostu ciśnienia biogazu w komorach WKF.

Nowa pochodnia biogazu zastąpi istniejącą, która zostanie zdemontowana. Pochodnia zlokalizowana w bezpośrednim sąsiedztwie nowego zbiornika biogazu, w czasie eksploatacji nie będzie wymagała ingerencji obsługi. Wszystkie funkcje, jak zapalenie, kontrola płomienia oraz odcięcie dopływu biogazu, będą realizowane automatycznie.

Pierwszą instalacją w ciągu technologicznym uzdatniania biogazu będzie węzeł podnoszenia ciśnienia biogazu do wartości właściwej dla agregatów kogeneracyjnych i kotłów wodnych wraz z kontrolą jego parametrów w sieci (pomiar ciśnienia

w trakcie zasysania i tłoczenia). Wentylator, podnosząc ciśnienie biogazu, będzie go tłoczył do instalacji uzdatniania biogazu, a następnie do odbiorników. Na instalację uzdatniania biogazu składa się instalacja osuszania oraz filtry ze złożem węglowym.

Proces osuszania będzie przebiegał dwustopniowo w zespole dwóch wielostrumieniowych wymienników ciepła wykonanych ze stali nierdzewnej, izolowanych termicznie. W pierwszym etapie osuszania biogaz zostanie schłodzony. Czynnik chłodniczy będzie dostarczany do wymiennika z agregatu ziębniczego. W drugim etapie procesu osuszania nastąpi podgrzanie biogazu. Wymiennik podgrzewający będzie ogrzewany ciepłem technologicznym (woda grzewcza) doprowadzonym z istniejącej sieci ciepłowniczej. Dodatkowo projektuje się wykonanie obejścia (bajpas) instalacji. Umożliwi to skierowanie biogazu pod odpowiednim ciśnieniem bezpośrednio do instalacji usuwania siarkowodoru i siloksanów, kiedy instalacja osuszania będzie czasowo wyłączona z eksploatacji (np. z powodu prac serwisowych).

Dalej biogaz trafi do filtrów wykonanych ze stali nierdzewnej, izolowanych termicznie, wypełnionych złożem na bazie węgla aktywnego, przeznaczonych do redukcji siarkowodoru oraz związków krzemu (siloksanów). Filtry zostaną połączone szeregowo z możliwością pracy obu bądź jednego z nich (wybranego) lub żadnego (bajpas całej instalacji).

Każdy filtr posiada dwie komory: górną i dolną, o identycznych pojemnościach $V = 1500 \text{ dm}^3$. W obu komorach będzie znajdowało się złożo. W komorze górnej złożo będzie odcięte od dolnej części filtra za pomocą przegrody otwieranej zaworem zlokalizowanym pod górnym włazem zasypowym. Konstrukcja przegrody między komorami zapewni przepływ biogazu przy zamkniętym zaworze. Dzięki takiemu rozwiązaniu będzie istniała możliwość wymiany tylko bardziej obciążonego złoża znajdującego się w dolnej komorze każdego z filtrów.

Biogaz będzie doprowadzany do filtrów od dołu przez króciec DN 200. Wewnątrz filtrów przepłynie przez dwie warstwy złoża znajdujące się odpowiednio w dolnej i górnej komorze filtra. Odprowadzenie biogazu po oczyszczeniu będzie odbywać się przez króciec DN 200 zlokalizowany w górnej części filtrów. Króćce umożliwiają pobór próbek biogazu do analizy: przed i po pierwszym stopniu oczyszczania oraz po drugim stopniu oczyszczania.

W górnej części filtrów, na poziomie włazów zasypowych, znajdzie się pomost obsługowy oraz konstrukcja z belką wciągarkową z wciągarką umożliwiającą podnoszenie big-bagów oraz zasypywanie złoża bezpośrednio do filtrów. Wszystkie urządzenia wchodzące w skład instalacji uzdatniania biogazu będą przystosowane do zabudowy zewnętrznej.

Instalacja zostanie wyposażona w czujnik pomiarowy siarkowodoru, informujący o stężeniu H_2S w biogazie kierowanym do planików urządzeń.

Energia elektryczna z biogazu

Przewidywana zwiększona produkcja biogazu oraz zbiornik o większej pojemności umożliwią montaż turbiny biogazowej o nominalnej mocy elektrycznej 200 kW oraz dodatkowej jednostki kogeneracyjnej, której moc elektryczna będzie wynosiła 600 kW. Jednostka kogeneracyjna będzie się znajdować w istniejącej kotłowni, która w tym celu zostanie gruntownie przebudowana. Znajdą się tam również dwa nowe kotły wodne. Mikroturbina gazowa jest zlokalizowana na fundamencie w rejonie budynku kotłowni, zabezpieczona wiatą.

Wyprowadzenie mocy elektrycznej z turbiny oraz jednostki kogeneracyjnej będzie odbywało się za pośrednictwem stacji transformatorowej 0.4/15 kV. Przetransformowane napięcie zostanie wprowadzone do rozdzielni 15 kV, w części należącej do Wodociągów Miasta Krakowa SA. Jest to pierwszy przypadek podłączenia jednostek kogeneracyjnych do rozdzielni średniego napięcia w tym przedsiębiorstwie.

Do sterowania pracą jednostek wytwórczych założono algorytmy umożliwiające maksymalne wykorzystanie wytwarzanego biogazu dzięki optymalnemu sterowaniu możliwościami magazynowania biogazu i sterowania jednostkami wytwórczymi w zależności od aktualnego zapotrzebowania na energię elektryczną. Zrezygnowano zarazem z możliwości oddawania energii do systemu dystrybucyjnego.

W ramach projektu nastąpi też wymiana wysłużonych kotłów gazowych na nowe jednostki. Będą to dwa kotły o mocy cieplnej 560 kW na biogaz i gaz ziemny. Umożliwi to pełne wykorzystanie potencjału energetycznego obiektu oraz zapewni możliwość pracy w niskich temperaturach. Powstające w procesie kogeneracji ciepło będzie włączone do istniejącego systemu ciepłowniczego.

W trakcie rozbudowy zmodernizowany zostanie system AKPiA. Wszystkie pomiary zostaną doprowadzone do systemu mikrokomputerowego. Niezależnie od ich zastosowania do realizacji programu i sterowania będą one również wizualizowane na ekranach monitoringu w systemie SCADA. Wszystkie jednostki wytwórcze energii zostaną precyzyjnie opomiarowane zarówno w zakresie zużycia biogazu, jak i produkcji energii, co pozwoli na bieżące śledzenie wykorzystania biogazu oraz ilości wytwarzanej energii elektrycznej i cieplnej.

Zaawansowanie prac

Zakończenie inwestycji planowane jest w styczniu 2022 r. Aktualnie prace postępują zgodnie z przyjętym harmonogramem realizacji inwestycji. Jak poinformowała Monika Smoleń, kierownik projektu z firmy Instal Kraków SA, zakończone zostały roboty związane z budową obiektów kubaturowych oraz fundamentów pod urządzenia, a także wszystkie roboty sieciowe. Wykonano zbiornik wyrównawczy osadu nadmiernego oraz komorę przyziornikową wraz z instalacją technologiczną – rurociągi osadu nadmiernego zostały włączone do nowej komory, w związku z czym osad przepływa już przez nowy obiekt. Zrealizowano wszystkie najważniejsze dostawy, część wyposażenia została zamontowana i jest przygotowywana do uruchomienia, głównie instalacja uzdatniania biogazu, kluczowa dla pracy urządzeń zasilanych biogazem, tj. nowy agregat kogeneracyjny, a także pracujące już w oczyszczalni jednostki: mikroturbina gazowa oraz kotły wodne.

Obecnie realizowane są prace w dwóch obiektach: budynku zagęszczania i odwadniania oraz budynku kotłowni gazowej. Zaawansowanie prac w budynku kotłowni pozwoli na uruchomienie zmodernizowanej kotłowni przed sezonem grzewczym. Jest to jeden z najtrudniejszych elementów robót w całej inwestycji. Ze względu na zakres prac oraz konieczność utrzymania ciągłości pracy oczyszczalni wykonawca zdecydował o zainstalowaniu niezależnego źródła ciepła w postaci kotłowni kontenerowej opalanej gazem ziemnym. Taki zabieg ułatwił demontaż całego wyposażenia istniejącej kotłowni (cztery kotły wraz z instalacją technologiczną oraz elektryczną),



Kotłownia gazowa

umożliwiając tym samym bezpieczną pracę na wyłączonym z ruchu obiekcie. Ze względu na proces technologiczny zachodzi konieczność ciągłego ogrzewania WKF-ów, utrzymując zadaną temperaturę, niezbędną dla procesu fermentacji. Tymczasowa kotłownia kontenerowa o mocy 930 kW, zlokalizowana tuż obok istniejących agregatów kogeneracyjnych, z powodzeniem utrzymuje założone parametry.

Istotnym elementem realizacji przedsięwzięcia jest modernizacja budynku odwadniania i zagęszczania, w którym na ukończeniu są roboty budowlane związane z wykonaniem nowych fundamentów, posadzki oraz suwnicy służącej do prac serwisowych nowych wirówek. W następnej kolejności wykonywane będą montaż urządzeń oraz instalacji technologicznej wężła odwadniania i zagęszczania osadu.

Najbardziej złożonym elementem będzie uruchomienie wszystkich ogniw technologicznych, tj. powiązanie nowego układu urządzeń kogeneracyjnych z pracującymi już w oczyszczalni, tak aby w pierwszej kolejności wykorzystywać urządzenia kogeneracyjne, traktując kotły wodne jako uzupełniające źródło ciepła. Wymaga to zaawansowanych prac programistycznych oraz optymalizacji systemu, aby układ działał w pełni automatycznie, maksymalnie wykorzystując paliwo biogazowe.

Na uwagę zasługuje fakt, że Wodociągi Miasta Krakowa SA jako pierwsze w Polsce przedsiębiorstwo wodociągowe zastosowały w swoim obiekcie turbinę gazową do produkcji energii elektrycznej, wykorzystując energię odnawialną, czyli biogaz. Miało to miejsce w 2016 r., kiedy w oczyszczalni ścieków Płaszów zainstalowano dwie mikroturbiny gazowe o mocy 65 kW.

W ramach zadania realizowanego w OŚ Kujawy została dostarczona największa na świecie mikroturbina gazowa na łożyskach powietrznych, produkująca 200 kW czystej, zielonej energii. Urządzenie charakteryzuje się niewielką, modułową konstrukcją, pozwalającą na łatwą i tanią instalację. Ponadto cechuje ją ultraniski poziom emisji szkodliwych związków w spalinach, może pracować na biogazie oczyszczalnianym H₂S do 5000 ppm, posiada tylko jedną ruchomą część, co oznacza minimalny zakres czynności konserwacyjnych i przestojów. Zastosowany przez producenta system łożysk powietrznych oznacza brak konieczności smarowania olejem oraz nieużywanie płynów chłodzących, co znacząco zmniejsza koszty eksploatacyjne. Urządzenie cechuje się też dużą niezawodnością.

Zakończenie planowanych prac będzie kolejnym krokiem do ograniczenia emisji i poprawy efektywności energetycznej procesu oczyszczania ścieków.

