

Urządzenia kogeneracyjne zasilane biogazem i pompy ciepła. Doświadczenia użytkownika w utrzymaniu sprawności technicznej i eksploatacyjnej instalacji

Piotr Dudek, Jerzy Jonkisz, Edward Kochowski, Piotr Majdak, Kazimierz Oboza

Wstęp

W ostatnich latach, zwłaszcza po wejściu Polski do Unii Europejskiej, podejmowane są różnorodne działania mające służyć poprawie klimatu i ochronie środowiska naszej planety, szczególnie przez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, w tym CO₂ związane z wykorzystaniem w energetyce paliw kopalnych. W związku z tym obserwujemy dążenie do poszukiwania rozwiązań pozwalających na korzystanie np. z alternatywnych źródeł energii, które zarówno są przyjazne środowisku naturalnemu, jak i przyczyniają się do zachowania kopalnych surowców energetycznych dla przyszłych pokoleń. Do realizacji tych celów mogą być odpowiednio dobierane nowoczesne rozwiązania oparte na odnawialnych źródłach energii, np. na biogazie powstającym w procesach beztlenowej fermentacji metanowej osadów, jak też pompach ciepła, dla których źródłem pierwotnym ciepła może być energia zawarta w wodzie wodociągowej lub ściekach. Instalacje te mają swój sens wszędzie tam, gdzie są rentowne. Szczególnie wykorzystanie biogazu znajduje coraz szersze zastosowanie na oczyszczalniach ścieków w branży wodociągowo-kanalizacyjnej.

AQUA SA w ostatnich latach zbudowała instalację i wdrożyła proces beztlenowej fermentacji metanowej osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków dla aglomeracji Bielska-Białej w Komorowicach. Pozyskiwany biogaz przeznacza w całości na wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej dla zaspokojenia potrzeb oczyszczalni ścieków w Komorowicach. W referacie opisano instalację oraz doświadczenia AQUA SA we wdrażaniu systemu pozyskiwania biogazu i jego zastosowanie do kogeneracji energii elektrycznej oraz ciepłej. Główną uwagę zwrócono na doświadczenia użytkownika w utrzymaniu sprawności technicznej i eksploatacyjnej instalacji. Rozwiązania te, stosowane w Spółce od wielu lat i stale udoskonalane, cechują się bardzo wysoką sprawnością energetyczną, niezawodnością oraz efektywnością ekonomiczną. Już obecnie ilość wytworzonej w kogeneracji energii pozwala w 100% pokryć zapotrzebowanie oczyszczalni ścieków w Komorowicach na energię cieplną i w ponad 40% na energię elektryczną [1].

Oczyszczalnia ścieków w Komorowicach wraz z opisem jej efektywności

Oczyszczalnia ścieków Komorowice to największa oczyszczalnia eksploatowana przez firmę AQUA SA, zlokalizowana

w północnej części miasta Bielsko-Biała, w dzielnicy Komorowice. W obiekcie oczyszczane są ścieki komunalne i przemysłowe z terenu miasta oraz sąsiednich gmin – Szczyrku, Buczkowic i Wilkowic. Budowa pierwszej oczyszczalni o projektowanej wydajności części biologicznej do 42 000 m³/24 h i mechanicznej do 56 000 m³/24 h rozpoczęła się w 1969 roku i została ukończona pod koniec lat 70. XX w. Oczyszczalnia ta nigdy nie osiągnęła założonych celów technologicznych i działała bez pozwolenia wodnoprawnego aż do pierwszej poważnej modernizacji dokonanej przez firmę PURAC na zlecenie gminy Bielsko-Biała na początku lat 90. XX w. W latach 1991–1993 została dokonana pierwsza modernizacja oczyszczalni polegająca na wymianie niektórych urządzeń technologicznych, w szczególności zmodernizowany został tzw. stary bioreaktor [1]. Kolejna modernizacja miała miejsce na przełomie wieków, kiedy to do oczyszczania ścieków wprowadzono technologię oczyszczania biologicznego Step by P wg rozwiązania CH2M HILL. W związku z wejściem Polski do UE i zastrzeżeniem wymogów jakościowych w stosunku do ścieków oczyszczonych, zwłaszcza w zakresie dopuszczalnego stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego, w latach 2006–2008 została przeprowadzona kolejna modernizacja i rozbudowa oczyszczalni ścieków, polegająca na rozbudowie drugiego bioreaktora i modernizacji technologicznej z zastosowaniem procesu *Dynamic Step Feed* oraz modernizacji istniejącego tzw. starego bioreaktora. Rozbudowano również system sterowania pracą oczyszczalni i system automatyki – SCADA w technologii WIN CC Siemens. Ostatnia modernizacja oczyszczalni odbyła się w 2012 roku i obejmowała budowę dwóch zbiorników uśredniających na ścieki dowożone i na odcieki z procesu odwadniania osadu. W efekcie tych działań zapewniono zdolność oczyszczalni do oczyszczania całości ścieków docierających kanalizacją i dowożonych taborem asenizacyjnym z tzw. aglomeracji Bielska-Białej. Obecnie zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym wydajność oczyszczalni wynosi 90 000 m³/24 h, a w okresie intensywnych opadów deszczu oraz roztopów – 124 000 m³/24 h. Proces modernizacji oczyszczalni ścieków jest kontynuowany z myślą o poprawie jej efektywności. I tak w bieżącym roku dokonano pełnej rehabilitacji konstrukcji żelbetowej i ocieplenia wszystkich czterech komór fermentacyjnych (WKF), każda o poj. czynnej 2200 m³. Prowadzone przez

lata modernizacji oraz rozbudowa OŚ Komorowice doprowadziły do powstania nowoczesnego obiektu umożliwiającego oczyszczanie ścieków zgodnie z obowiązującym prawem unijnym, ze szczególnym uwzględnieniem redukcji stężenia związków biogenych: azotu ogólnego i fosforu ogólnego (rys. 1 i 2).

Nastąpiła poprawa stanu środowiska naturalnego, w tym wód powierzchniowych rzeki Białej oraz wód podziemnych i gleby. OŚ Komorowice należy do grupy największych oczyszczalni w Polsce (>100 000 RLM), dla których zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska nr 137/2006 poz. 984 w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub do ziemi, wypełniane są wymagane parametry ścieków oczyszczonych (tabela 1).

Inwestycje prowadzone na terenie oczyszczalni pozwoliły również na wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych: wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej z biogazu powstającego w trakcie fermentacji osadów ściekowych oraz energii ciepłej ze ścieków dopływających do oczyszczalni wykorzystywanej poprzez instalację pomp ciepła.

Odnawialne źródła energii wykorzystywane w oczyszczalni w Komorowicach.

Pompy ciepła

AQUA SA od 2005 roku z sukcesem stosuje systemy oparte na instalacjach pomp ciepła.

Zastosowanie pomp ciepła i wykorzystanie energii z dopływających do OŚ Komorowice ścieków pozwoliło na ograniczenie zużycia gazu. Instalacja służy do ogrzewania budynków administracyjnych, warsztatów, garaży i budynku krat komunalnych o łącznej kubaturze 5000 m³, znajdujących się na terenie oczyszczalni ścieków. Dolnym źródłem ciepła są ścieki przepływające przez układ piaskowników poziomych, w którym ułożono 8 obiegów rury polietylenowej (PE HD 80) o Dz 40 mm. Łączna długość instalacji wynosi ~2400 m.

W efekcie procesów termodynamicznych zachodzących w pompie ciepła uzyskuje się temperaturę rzędu 45°C, a następnie woda podgrzana kierowana jest do odbiorczej instalacji grzewczej. Zastosowane na obiekcie rozwiązanie jest oparte na układzie 3 pomp ciepła o mocy elektrycznej 14 kW każda (fot. 1). Układ grzewczy w pełni zaspokaja także zapotrzebowanie na CWU do celów socjalnych [4]. Osiągany współczynnik sprawności pompy COP (efektywności) wynosi u nas nie mniej niż 4,5.

Kogeneracja w AQUA SA

Kogeneracja lub technologia skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej (ang. *Combined Heat and Power*) – CHP, polegająca na jednoczesnym wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepłej, ze względu na odzysk energii ciepłej pochodzącej ze spalin jest procesem umożliwiającym efektywniejsze wykorzystanie zużytego paliwa, a w związku z tym technologią przynoszącą korzyści ekonomiczne i środowiskowe.

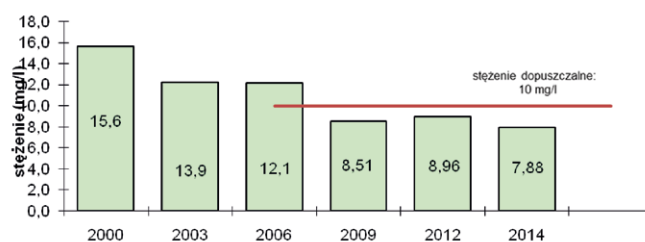
Kogeneracja stanowi dobrze udokumentowaną technologię, uznawaną na całym świecie za czystsza od tradycyjnego zcentralizowanego wytwarzania energii w elektrowniach. Jej długoterminowa przyszłość na światowych rynkach energetycznych jest zabezpieczona przez korzyści finansowe,

Tabela 1. Parametry jakościowe ścieków oczyszczonych odprowadzanych do rzeki Białej zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym

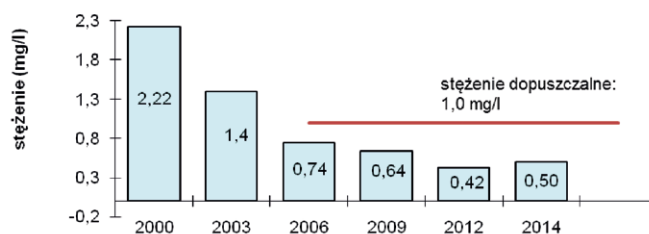
Parametr	Wartość dopuszczalna	Średnie wartości w roku 2014
ChZT	≤125 gO ₂ /m ³	39,6 gO ₂ /m ³
BZT ₅	≤15 gO ₂ /m ³	6,46 gO ₂ /m ³
Zawiesina	≤35 g/m ³	13,4 g/m ³
Azot ogólny*	≤10 gN/m ³	7,88 gN/m ³
Fosfor ogólny**	≤1,0 gP/m ³	0,5 gP/m ³

* dotyczy średniej rocznej przy temperaturze w bioreaktorze >12°C

** dotyczy średniej rocznej



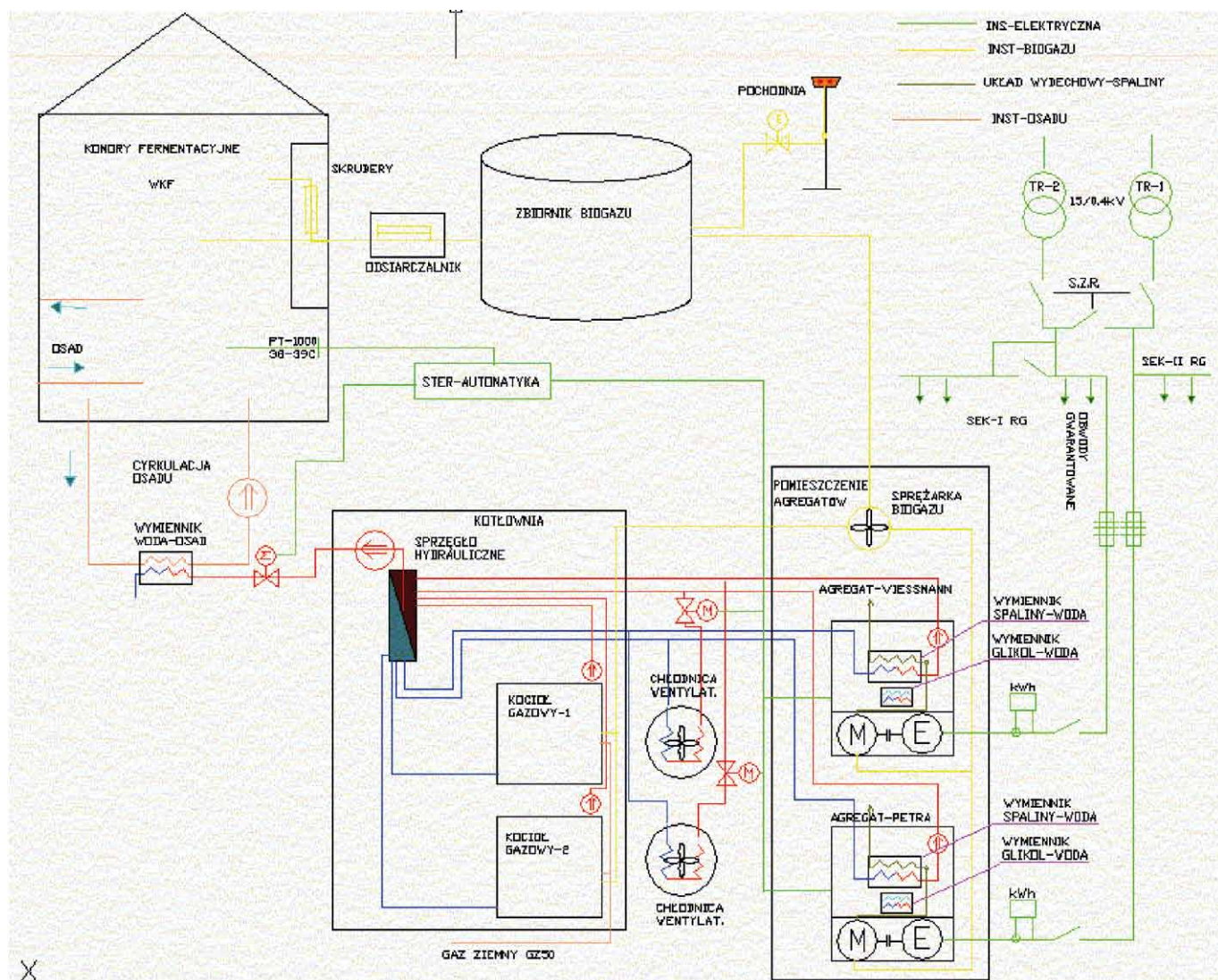
Rys. 1. Poprawa stężenia azotu ogólnego na przestrzeni ostatnich lat (stężenie azotu ogólnego w ściekach odpływających do rzeki Białej w latach 2000–2014)



Rys. 2. Zmiana stężenia fosforu ogólnego na przestrzeni lat (stężenie fosforu ogólnego w ściekach odpływających do rzeki Białej w latach 2000–2014)



Fot. 1. OŚ Komorowice – instalacja pomp ciepła



Rys. 4. Schemat przeróbki biogazu i odzysku ciepła w OŚ Komorowice

operacyjne i środowiskowe, jakie przynosi na jednostkę zużytego paliwa. Początki gospodarczego wykorzystania biogazu w AQUA SA sięgają okresu lat 1993–1994 (fot. 4). Kolejne modernizacje energetyczne, prowadzone na OŚ Komorowice w latach 2006 i 2010, przyniosły istotne oszczędności ekonomiczne i efekty ekologiczne. Obecnie, po zainstalowaniu dwóch kogeneracyjnych agregatów prądowców o mocy elektrycznej odpowiednio: 170 i 359 kW_e, procentowy udział energii elektrycznej wytwarzanej łącznie w agregatach do ogólnej ilości energii zużywanej na procesy oczyszczania wynosi ~40% (rys. 3). W okresie bardzo niskich temperatur zewnętrznych istnieje możliwość spalania biogazu w dwóch kotłach o mocy 500 kWt każdy, zaspokajając tym samym w 100% zapotrzebowania na ciepło technologiczne [4].

W urządzeniach kogeneracyjnych oczyszczalni ścieków stosowany jest biogaz wytwarzany w komorach fermentacyjnych, w których prowadzona jest beztlenowa fermentacja osadów ściekowych, polegająca na biochemicznym rozkładzie substancji organicznych, głównie przez bakterie metanowe w warunkach mezofilnych w temperaturze 37–38°C (rys. 4).

Do utrzymywania w WKF-ach ww. parametrów temperaturowych używane jest ciepło z procesu kogeneracji.

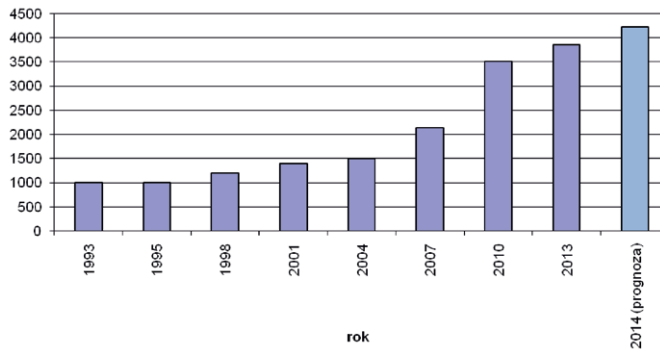
Produkowany gaz (biogaz) w bioreaktorach ma niżej przedstawione uśrednione parametry chemiczno-fizyczne:

- udział procentowy metanu w biogazie – średnio 60%;
- udział procentowy dwutlenku węgla – 39%;
- udział procentowy tlenu ~0%;
- zawartość siarkowodoru (wlot biogazu do odsiarczania) – 20 ppm;
- zawartość siarkowodoru (wylot biogazu z odsiarczania) – 5 ppm;
- wartość opałowa średnio 4800 kcal/m³ [4].

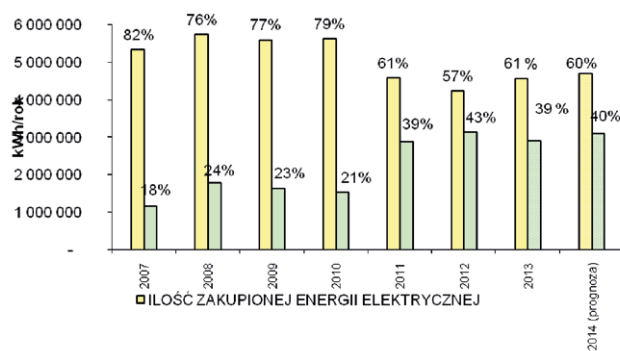
Korzyści płynące z kogeneracji przedstawia rys. 5 i 6.

Korzyści eksploatacyjne:

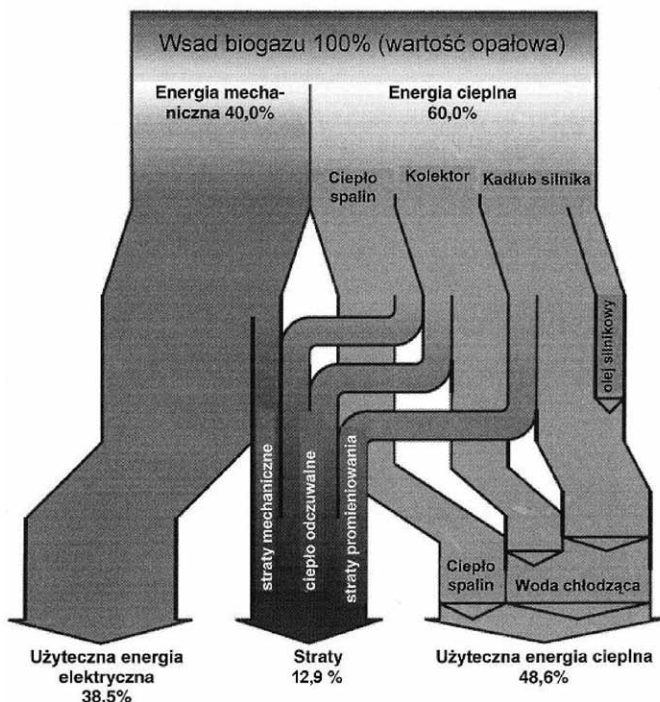
- urządzenie kogeneracyjne jako podstawowe lub rezerwowe źródło zasilania elektrycznego (w przypadku skojarzenia układu z siecią energetyczną przy zaniku zasilania zewnętrznego – umożliwia zaspokojenie najistotniejszych dla ruchu zakładu części potrzeb własnych);
- zwiększanie bezpieczeństwa dostaw energii;
- większa elastyczność produkcji ciepła do celów technologicznych i ogrzewania.



Rys. 4. Produkcja i wykorzystanie biogazu w m³/24 h w OŚ Komorowice (lata 1993–2014)



Rys. 5. Zakup i produkcja energii elektrycznej w kWh/rok w OŚ Komorowice (lata 2007–2014)



Rys. 6. Schemat przepływu energii w urządzeniu kogeneracyjnym (wg dokumentacji technicznej agregatu kogeneracyjnego VISSMANN) [5]

Korzyści finansowe:

- obniżenie kosztów użycia paliw;
- stabilne koszty energii w ustalonym okresie;
- niższe koszty inwestycyjne w urządzenia towarzyszące, np. kotły;
- zbywalne prawa majątkowe ze świadectw pochodzenia energii (zielone certyfikaty).

Korzyści środowiskowe:

- obniżenie zużycia paliwa ze źródła zewnętrznego;
- zmniejszenie emisji dwutlenku węgla;
- niskie straty przesyłowe energii (bliskość wytwarzania i odbioru energii).

Korzyści prawne:

- możliwość zwiększenia produkcji energii bez przekraczania ustawowych limitów emisji dwutlenku węgla;
- możliwość umorzenia świadectw pochodzenia energii z wysoko sprawnej kogeneracji [4].

Obecnie w AQUA SA eksploatowane są dwa zespoły kogeneracyjne:

- agregat kogeneracyjny PETRA – typ 230SCF o mocy elektrycznej 170 kWe (fot. 2);
- agregat kogeneracyjny VISSMANN typ VITOBLOC 200-BM-366/437 o mocy elektrycznej 359 kWe (fot. 3).

Eksploatacja systemu wytwarzania biogazu – agregaty kogeneracyjne w AQUA SA

W AQUA SA bieżącą eksploatację systemu wytwarzania biogazu i eksploatację agregatów kogeneracyjnych prowadzą wyznaczeni wykwalifikowani i przeszkoleni pracownicy działu eksploatacyjnego Oczyszczalni Ścieków Komorowice.

W pracach konserwacyjnych, kontrolno-pomiarowych oraz w usuwaniu awarii współpracują z nimi pracownicy Działu Utrzymania, którzy równocześnie prowadzą bieżący serwis.

Dział Utrzymania posiada cztery komórki organizacyjne:

- komórka elektryczna;
- komórka automatyki;
- komórka mechaniczno-hydrauliczna;
- komórka budowlano-gospodarcza.

Pracownicy Działu Utrzymania posiadają wymagane prawem kwalifikacje zawodowe, wykształcenie, doświadczenie zawodowe i kreatywność w danym kierunku działalności. Wszyscy oni posiadają odpowiednie zaświadczenia kwalifikacyjne (branżowe) do prowadzenia prac remontowo-konserwacyjnych i pomiarowych urządzeń energetycznych, prac na wysokościach i prac w strefie zagrożenia.

Pracownicy Działu Utrzymania pełnią także domowe dyżury pogotowia technicznego ze względu na potencjalną pracę w warunkach niebezpiecznych związanych z eksploatacją systemu: biogazownia – agregaty kogeneracyjne – przesył energii elektrycznej i cieplnej. Wiąże się to z koniecznością pracy w wielu przypadkach w nocy i w święta, dlatego dyżury domowego pogotowia technicznego musi pełnić co najmniej dwóch pracowników o odpowiednich kwalifikacjach (przeważnie jest to elektromechanik i automatyk). Konieczne jest również pełnienie



Fot. 2. OŚ Komorowice – agregat kogeneracyjny PETRA-230SCF o mocy eksploatacyjnej 170 kW



Fot. 3. OŚ Komorowice – agregat kogeneracyjny VISSMANN typ VITOBLOC 200-BM-366/437 o mocy eksploatacyjnej 359 kW

dyżurów pogotowia technicznego przez pracownika dozoru – odpowiedzialnego za prowadzenie prac niebezpiecznych.

Utrzymywane w dobrym stanie technicznym urządzenia i instalacje systemu: biogazownia – agregaty kogeneracyjne – instalacje przesyłowe i odbiorniki energii elektrycznej oraz ciepłej gwarantują prawidłowe wyniki pracy systemu kogeneracji.

Ważną rolę w prawidłowej pracy systemu energetycznego agregatów kogeneracyjnych stanowi układ przesyłu i rozdziału energii elektrycznej oraz ciepłej i dopracowana procedura stałego monitoringu, przeglądu i konserwacji urządzeń energetycznych. Kluczową rolę w tym obszarze odgrywa odpowiednio dobrany i wdrożony system zdalnego monitoringu i automatycznego sterowania (SCADA) [2].

System SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition* – system nadzoru zbierania danych; w odniesieniu do instalacji biogazowni i agregatów kogeneracyjnych zezwala na pełny wgląd w parametry pracy układu. Jego główne funkcje obejmu-

ją zbieranie aktualnych danych (pomiarów) i ich archiwizację, alarmowanie oraz archiwizację danych. Sterowanie procesami powierzone jest sterownikowi programowalnemu PLC.

Sterowniki PLC połączone są bezpośrednio z urządzeniami wykonawczymi (zawory, silniki, pompy itp.) i pomiarowymi (czujniki: temperatury, ciśnienia, poziomu itp.). Zbierają one dane oraz wykonują automatycznie wcześniej zadane algorytmy sterowania i regulacji. Za pośrednictwem sterowników PLC dane trafiają do systemu SCADA i tam są rejestrowane, archiwizowane i przetwarzane na formę bardziej przyjazną dla człowieka, np. poprzez wizualizację na monitorach.

Dla potrzeb sterowania procesami fermentacji metanowej w WKF – wydzielonych komorach fermentacyjnych – przekazywane są do systemu SCADA online istotne parametry, w szczególności: temperatury przed i za wymiennikami ciepła, temperatury w komorach fermentacyjnych i wysokość napętnienia komór. Ponadto chwilowy dopływ doprowadzanego do WKF osadu, suma dopływu za obecną i poprzednią dobę lub inny okres, dopływ całkowity. Dla agregatów kogeneracyjnych najważniejsze z rejestrowanych parametrów to: chwilowa moc elektryczna i cieplna oraz sumator tych wielkości, ponadto szczegółowe parametry elektryczne (napięcie, natężenie prądu, częstotliwość) poziom ciśnienia czy też temperatury płynów eksploatacyjnych, czas pracy, liczba startów i rozruchów, stany awaryjne i czas przerw w eksploatacji.

Nad prawidłową pracą systemu SCADA i całego układu sterowania oraz automatyki czuwają obsługa oczyszczalni ścieków we współpracy z sekcją automatyki Działu Utrzymania.

Agregaty kogeneracyjne w AQUA SA. Wykaz usterek

Dla zobrazowania skali problemów związanych z utrzymaniem w sprawności technicznej urządzeń kogeneracyjnych, z jakimi powinien się liczyć eksploatacja, przytaczamy wykaz wyłącznie najbardziej typowych, a zarazem poważnych uszkodzeń układu mechanicznego poszczególnych urządzeń, które w przeszłości miały wpływ na pracę i osiągnięte efekty eksploatacyjne oraz są dla nas źródłem wniosków i działań naprawczych na przyszłość (tabela 2 i 3).

Zagrożenia w eksploatacji instalacji: biogazowni osadów ściekowych – agregatów kogeneracyjnych – przesyłu i zagospodarowania energii elektrycznej oraz ciepłej

a) Zagrożenia przy eksploatacji instalacji biogazu

Eksploatacja i utrzymanie ruchu urządzeń kogeneracji energii należy rozpatrywać łącznie z instalacjami biogazowni. W oczyszczalni ścieków Komorowice w wyniku fermentacji metanowej osadów ściekowych wytwarzany jest biogaz i dlatego obiekty związane z gospodarką biogazem posiadają strefy zagrożenia wybuchem, czyli wymiarowo ograniczoną przestrzeń wokół potencjalnego źródła wydzielania biogazu do atmosfery, w obrębie której należy liczyć się z powstawaniem mieszaniny wybuchowej.

W strefach zagrożonych wybuchem oraz w innych obiektach i urządzeniach, oprócz stałego monitoringu wycieku gazu, przeprowadza się cykliczne pomiary szczelności instalacji gazowych i sprawdza się sprawność techniczną stacjonarnych

Tabela 2. Agregat kogeneracyjny PETRA TYPU 230 CDF

Lp.	Nazwa usterki	Data zgłoszenia usterki. Czas realizacji naprawy	Przyczyny i wnioski
1.	Uruchomienie agregatu	29.12.2006 r.	
2.	Awaria akumulatorów wraz z ładowarką	20.03–23.03.2009 r.	
3.	Nieszczelności układu chłodzenia – pęknięcie plastikowych przewodów w układzie chłodzenia	05.05–08.05, 11.05–20.05.2009 r.	Brak kompensatorów w instalacji chłodniczej
4.	Awaria rozrusznika agregatu	26.05.2009 r.	
5.	Awaria aktuatora	02–03.07.2009 r.	
6.	Wyciek oleju z silnika – wymiana uszczelnień wału korbowego	03.08–25.08.2009 r.	
7.	Awaria ładowarki akumulatorów	27.08.2009 r.	
8.	Awaria cewki zapłonowej – wymiana	07–13.10.2009 r.	
9.	Niestabilna praca agregatu	13.11–30.11.2009 r.	Regulacja parametrów pracy silnika
10.	Nieszczelność zaworu trójdrożnego w obiegu chłodzenia – wymiana uszczelnienia	30.11–29.12.2009 r.	
11.	Zakończenie gwarancji agregatu	29.12.2009 r.	
12.	Remont kapitalny agregatu po przepracowaniu 32000 mth	05.10.2011 r.	
13.	Zanieczyszczenie układu chłodzenia – czyszczenie wymiennika woda – glikol	21.05–05.06.2013 r.	
14.	Awaria turbosprężarki po przepracowaniu 39 173 mth	11.12–23.12.2013 r.	
15.	Zanieczyszczenie układu chłodzenia – pęknięcie układu	20.01–03.02.2014 r.	
16.	Awaria turbosprężarki po przepracowaniu ok. 800 mth – skierowano do naprawy gwarancyjnej	16.05–25.07.2014 r.	Prawidłowa regulacja parametrów silnika

atestowanych detektorów gazu. Prace kontrolno-pomiarowe tych instalacji prowadzone są przez pracowników Działu Utrzymania, mających odpowiednie uprawnienia do prowadzenia prac pomiarowych instalacji gazowych. W związku z tym wszelkie prace konserwacyjne i remontowe prowadzone w tych strefach traktowane są jako prace szczególnie niebezpieczne i wymagają pisemnego zezwolenia prowadzącego eksploatację.

Prowadzący eksploatację wyznacza imiennie osobę sprawującą nadzór nad pracami niebezpiecznymi, zaś wytypowanej grupie pracowników przed przystąpieniem do robót udziela on instruktażu, w którym podaje informacje dotyczące:

- celu i zakresu pracy;
- sposobu przygotowania miejsca pracy;
- kolejności wykonywania czynności;
- rodzaju zagrożeń i możliwości ich występowania;
- wymaganych i zastosowanych środków bezpieczeństwa;
- objawów ewentualnego zatrucia i zasad udzielania pierwszej pomocy;
- sposobów i drogi ewakuacji.

Tabela 3. Agregat kogeneracyjny VISSMANN TYP BM 366-437

Lp.	Nazwa usterki	Data zgłoszenia usterki. Czas realizacji naprawy	Przyczyny i wnioski
1.	Uruchomienie agregatu	29.04.2011 r.	
2.	Awaria agregatu, komunikat: „temperatura bezpieczeństwa”	06–08.05.2011 r.	Ograniczona wydajność zespołu chłodnic wentylatorowych
3.	Niestabilna praca agregatu, duże wahania mocy	26.05–01.06.2011 r.	Regulacja parametrów pracy silnika
4.	Nieszczelność w układzie chłodzenia agregatu	14–20.07.2011 r.	
5.	Awaria turbiny silnika MAN	05–21.09.2011 r.	Dobór parametrów turbiny i oleju silnikowego
6.	Awaria turbiny silnika MAN	23.11.–16.12.2011 r.	
7.	Awaria turbiny silnika MAN	20.04.2012 r.	
8.	Awaria rozrusznika agregatu	11.05.2012 r.	
9.	Awaria turbin (2 sztuki) silnika MAN	16–26.07.2012 r.	
10.	Awaria akumulatora – wymiana na nowy	25.08.2012 r.	
11.	Awaria rozrusznika agregatu	14.03.2013 r.	
12.	Awaria silnika MAN – uszkodzenie bloku silnika przez przeciwwagę wału korbowego. Wymiana gwarancyjna silnika na nowy	01.06–04.07.2013 r.	Demontaż i ponowny montaż agregatu w budynku
13.	Przedłużenie gwarancji	do 05.07.2015 r.	
14.	Nieszczelność układu chłodzenia – spawanie przewodu chłodniczego	15–16.09.2013 r.	
15.	Awaria rozrusznika agregatu	13–14.11.2013 r.	
16.	Rozszczelnienie kompensatora rurowego na układzie chłodzenia – pomiędzy silnikiem a wymiennikiem spaliny – woda	03.01.2014 r.	
17.	Awaria rozrusznika agregatu	17–18.02.2014 r.	
18.	Awaria akumulatora – wymiana na nowy	04–05.05.2014 r.	
19.	Awaria akumulatora – wymiana na nowy	19.08.2014 r.	

b) Zagrożenia w eksploatacji agregatów kogeneracyjnych

W tym przypadku mamy do czynienia z kilkoma różnymi rodzajami zagrożeń i najważniejsze jest poznanie, a następnie przestrzeganie przez obsługę instrukcji technologicznej i stanowiskowych oraz stosowanie przewidzianych w tych instrukcjach narzędzi, a także środków bezpośredniej ochrony ciała i zasad BHP.

Zagrożenie termiczne

Ze względu na sposób działania silnik spalinowy modułu kogeneracyjnego i podłączone do niego elementy odbioru ciepła oraz odprowadzania spalin nagrzewają się do temperatury nawet kilkuset stopni Celsjusza.

Rurociągi i urządzenia są w miarę możliwości zaizolowane. Jednak niektóre miejsca muszą być swobodnie dostępne w celu dokonania niezbędnych prac instalacyjnych i serwisowania.

W przypadku zakłócenia chłodzenia może zareagować termostat zabezpieczający, powodujący nagły wypływ gorącego czynnika chłodzącego na zewnątrz instalacji.

Z uwagi na powyższe może podczas eksploatacji dojść do poparzeń.

Zagrożenia hałasem

Moduł kogeneracyjny wyposażony jest w obudowę dźwiękochłonną, której nie należy zdejmować w warunkach normalnej eksploatacji. Jednak czasem konieczne jest otwarcie obudowy dźwiękochłonnej modułu kogeneracyjnego, np. przy lokalizacji zakłóceń pracy lub podczas prac konserwacyjnych. Wtedy należy bezwzględnie stosować odpowiednie środki ochrony słuchu.

Zagrożenia związane z materiałami i substancjami używanymi w eksploatacji

Silnik spalinowy agregatu kogeneracyjnego uruchamiany jest przez akumulatory rozruchowe, są one napełnione kwaśnym elektrolitem. Elektrolit ma właściwości żrące i należy unikać kontaktu elektrolitu ze skórą, poprzez stosowanie odpowiednich środków ochrony bezpośredniej ciała. Przed elektrolitem należy także chronić oczy.

Zagrożenia te dotyczą również cieczy chłodzącej zawierającej glikol oraz oleju silnikowego.

Zagrożenia przy uszkodzeniach mechanicznych w ruchu

W przypadku uszkodzeń mechanicznych w termicznie obciążonych elementach mogą powstać przecieki i wytryski gorącego oleju silnikowego, płynu grzewczego lub chłodzącego.

Wskutek pęknięć lub korozji może dojść do rozszczelnienia układu odprowadzenia spalin i uwalnianie się do pomieszczeń toksycznego tlenku węgla.

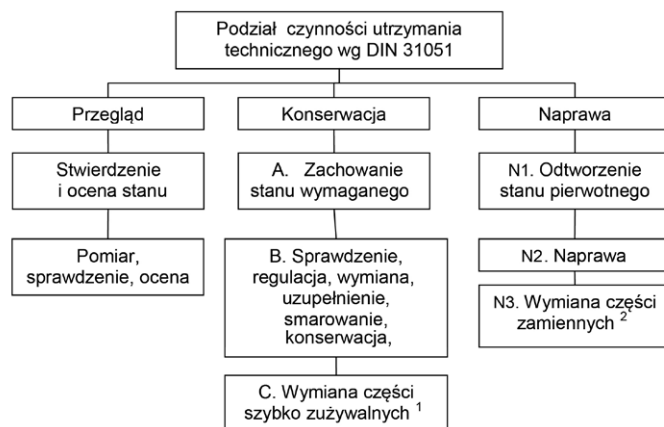
c) Zagrożenia związane z przesyłem i odbiorem energii elektrycznej i cieplnej

Zagrożenia elektryczne można podzielić na zagrożenia bezpośrednio, czyli możliwość przepływu prądu przez ciało człowieka, skutkujące poparzeniem lub śmiercią. Drugim zagrożeniem jest zagrożenie pośrednie, związane z wadliwą pracą instalacji i urządzeń elektrycznych, mogących spowodować porażenie prądem elektrycznym.

Trzecim głównym zagrożeniem jest zagrożenie pożarowe wynikające ze złego stanu izolacji lub uszkodzeń urządzeń elektrycznych.

Dlatego w AQUA SA prowadzone są prace kontrolno-pomiarowe wszystkich urządzeń elektrycznych w zakresie ochrony przeciwporażeniowej i przeciwpożarowej (stan izolacji przewodów i urządzeń). Prace kontrolno-pomiarowe prowadzą pracownicy Działu Utrzymania.

W związku z prowadzonym przesyłem i przetwarzaniem energii cieplnej głównym zagrożeniem dla obsługi jest możliwość poparzeń ciała w momencie bezpośredniego kontaktu z gorącymi nieizolowanymi elementami instalacji przesyłowej oraz urządzeń odbiorczych.



¹ Części szybko zużywalne (wg DIN 31051) są to części stosowane w miejscach, w których występuje uwarunkowane eksploatacyjnie zużycie i które z góry pomyślane są do wymiany.

² Części zamienne (wg DIN 31051) są to części, zespoły i kompletne wyroby, przeznaczone do zastępowania uszkodzonych, zniszczonych lub brakujących części, zespołów lub wyrobów.

<p>Odpowiednio do powyższych zadań w AQUA opracowano plan utrzymania technicznego dla modułów kogeneracyjnych PETRA i VITOBLOC 200, podzielone na konserwację (z wymianą części szybko zużywalnych) i naprawy (z wymianą części zamiennych). Rozróżniono różne stopnie konserwacji A do C, które po fazie dotarcia powtarzają się cyklicznie, aż do wyłączenia modułu z eksploatacji.</p> <p>A – mała konserwacja B – średnia konserwacja C – duża konserwacja</p>	<p>Podobnie podzielono na trzy stopnie listę napraw (N1 do N3)</p> <p>N1 – naprawa bieżąca N2 – naprawa średnia N3 – naprawa główna</p> <p>Po naprawie głównej nowy cykl zaczyna się od N1, powtarzając się aż do wyłączenia modułu z eksploatacji.</p> <p>Zależnie od wyników przeglądów można przyspieszać lub opóźniać wykonanie poszczególnych prac o jeden lub dwa okresy konserwacyjne.</p>
--	---

Rys. 7. Procedura utrzymania technicznego agregatów kogeneracyjnych wg DIN 31051 zastosowana w AQUA SA

Harmonogram prac

W tabeli 4 przedstawiono harmonogram przeglądów i napraw prowadzonych przez służby utrzymania ruchu AQUA SA i wybrane specjalistyczne firmy zewnętrzne.

Dla zilustrowania przyjętych czasokresów przeglądów i napraw informujemy przykładowo, że okres 1000 mth dla silnika agregatu kogeneracyjnego odpowiada przejechaniu przez samochód z silnikiem spalinowym trasy 50 000 km przy pełnym obciążeniu (ciągła jazda pod górę).

Przeglądy i konserwacje agregatów kogeneracyjnych

Zabudowane i włączone do eksploatacji agregaty kogeneracyjne muszą spełniać wymogi określone w tzw. Dyrektywie maszynowej 2006/42/WE [3]. Niezależnie od powyższego nowo zabudowane w AQUA SA urządzenia poddawane jest próbom technicznym i technologicznym w okresie próbnego rozruchu, w czasie którego sprawdzamy zgodność osiąganych parametrów technologicznych z deklaracjami dostawcy, uzależniając od tych efektów odbiór urządzenia oraz zapłatę. W następnym okresie po odbiorze technicznym prowadzona jest eksploatacja urządzenia na warunkach gwarancyjnych, zakończona po uzyskaniu wyznaczonych parametrów pracy odbiorem pogwarancyjnym i zwrotem kwot zatrzymanych dostawcy na okres gwarancji.

Niezbędne przeglądy główne i konserwacja samych zespołów kogeneracyjnych przeprowadzane są zgodnie z dokumentacją

Tabela 4. Plan przeglądów i napraw

RODZAJE PRZEGLĄDU		Zawsze co 1000 mth	Po okresie 3000, 6000, 12000, 15000, 21000, 24000, 30000, 33000 mth	Po okresie 9000, 18000, 27000, 36000 mth	Wykonawca
		A	B	C	
PLAN PRZEGLĄDÓW					
1	2	3	4	5	6
2	Wymiana filtra oleju	X	X	X	AQUA
3	Sprawdzić stan naładowania akumulatora, sprawdzić poziom elektrolitu, uzupełnić ilość wody destylowanej	X	X	X	AQUA
4	Filtr powietrza sprawdzić ew. wymienić	X	X	X	AQUA
5	Zmierzyć prześwit w zaworach ew. ustawić	X	X	X	AQUA
6	Sprawdzić ciśnienie wody chłodzącej ew. odpowietrzyć	X	X	X	AQUA
7	Sprawdzić ew. wyczyścić wyprowadzenie kondensatu	X	X	X	AQUA
8	Sprawdzić przepustnice i ciągnio ew. wymienić	X	X	X	AQUA
9	Sprawdzić kable zapłonowe ew. wymienić, sprawdzić wtyk świec zapłonowych	X	X	X	AQUA
10	Sprawdzić punkt zapłonu	X	X	X	AQUA
11	Sprawdzić punkty graniczne zapłonu	X	X	X	AQUA
12	Wydrukować podstawowe dane rejestrujące pracę agregatu	X	X	X	SERWIS ZE W
13	Sprawdzić ciśnienie spalin za silnikiem	X	X	X	SERWIS ZE W
14	Wykonać podstawową kontrolę szczelności i połączeń śrubowych ew. dokręcić	X	X	X	AQUA
15	Wykonać kontrolę funkcjonalną automatycznego uzupełniania oleju, sprawdzić sondy poziomu	X	X	X	AQUA
16	Otworzyć zawór napełniający, zaznaczyć poziom oleju	X	X	X	AQUA
17	Ustawić kolejny czasokres przeglądu	X	X	X	SERWIS ZE W
18	Sprawdzić podstawową modulację pracy agregatu	X	X	X	SERWIS ZE W
19	Wymienić świece zapłonowe	x	X	X	AQUA
20	Dokręcić śruby pokrywy zaworów				AQUA
21	Sprawdzić koncentrację środka przeciwzamrożeniowego ew. wymienić		X	X	AQUA
22	Sprawdzić ciśnienie kompresji silnika		X	X	AQUA
23	Sprawdzić wentylatory chłodzące, ew. wyczyścić		X	X	AQUA
24	Sprawdzić wskazania licznika mocy		X	X	AQUA
25	Sprawdzić szczelność instalacji gazowej, sprawdzić (wymienić) filtr gazu		X	X	AQUA
26	Sprawdzić prędkość obrotową silnika		X	X	AQUA
27	Sprawdzić wskazania czujników temperatury spalin i układu chłodzenia silnika		X	X	AQUA
28	Sprawdzić wskazania czujników ciśnienia oleju		X	X	AQUA
29	Wymienić sondę lambda		x	X	AQUA
30	Oczyścić mieszalnik gazu			X	AQUA
31	Wymienić płyn chłodzący - nie rzadziej niż co 24 miesiące			X	AQUA
PLAN NAPRAW					
RODZAJE NAPRAW		9000 mth	18000 mth	27000 mth	Wykonawca
		N 1	N 2	N 3	
1	2	3	4	5	6
2	Sprawdzić odpowietrznik skrzyni korbowej, ew. wymienić	X	X	X	AQUA
3	Wymiennik odzysku ciepła ze spalin - sprawdzić, ew. wymienić lub wyczyścić	X	X	X	AQUA/ SERWIS ZE W
4	Sprawdzić sprężarkę, ew. wymienić		X		AQUA/ SERWIS ZE W
5	Wymienić cewki zapłonowe		X		AQUA
6	Rozrusznik silnika sprawdzić ew. wymienić		X		AQUA
7	Sprawdzić wymiennik płytowy, ew. wymienić		X		AQUA/ SERWIS ZE W
8	Intercooler sprawdzić ew. wymienić		X		SERWIS ZE W
9	Sprawdzić głowice cylindrów		X		SERWIS ZE W
10	Dokonać remontu kapitalnego silnika			Po 32000 mth	SERWIS ZE W



Rys. 8. Podział czynności eksploatacyjnych

techniczno-ruchową – DTR poszczególnych zespołów kogeneracyjnych dostarczoną przez wytwórcę. W naszej firmie prace te są zlecone wysoko wyspecjalizowanym firmom z tej branży najczęściej związanym z wytwórcą na podstawie stosownych umów. Dokumentacja DTR w szczegółowy sposób opisuje czasy międzyprzegładowe, przewiduje wymianę eksploatacyjną płynów, olejów i zużywanych mechanicznie części [5].

W instalacjach urządzeń kogeneracyjnych występują tzw. „związane z eksploatacją” koszty wtórne dotyczące przeglądów, konserwacji i napraw.

Agregaty kogeneracyjne, przy ich eksploatacji są narażone na wiele niekorzystnych czynników, jak zużycie, starzenie, korozja, obciążenia termiczne i mechaniczne.

Norma DIN31051 (utrzymanie ruchu instalacji przemysłowych, ujęte w czterech podstawowych działach: serwisowanie, inspekcje, naprawy, remonty) określa to jako zużycie. Dla części mechanicznych agregatów kogeneracyjnych opisano zasady zużycia, gwarantujące prawidłową pracę agregatów.

Zdefiniowane są np. części „szybko zużywające się” przeznaczone do wymiany przy przeglądach okresowych (świece zapłonowe, filtry oleju, filtry powietrza itp.).

Norma DIN31051 określa też części o określonym resursie. Są to części, które mogą być zużyte przed zużyciem eksploatacyjnym całego urządzenia, a których trwałości nie można przedłużyć możliwymi środkami technicznymi i uzasadnionymi ekonomicznie. Należą do nich głowice, zawory, panewki łożyskowe, katalizatory, wymienniki ciepła, sprężarki itp.

Zgodnie z podanym powyżej podziałem pojęcie „eksploatacja” obejmuje wszystkie zadania konieczne do uwzględnienia dla prawidłowego i zgodnego z przeznaczeniem użytkowania instalacji kogeneracyjnych.

Nowoczesne agregaty kogeneracyjne powinny posiadać autonomiczny elektroniczny system samokontroli, pozwalający na ciągły zapis parametrów pracy urządzenia. Na tej podstawie, w razie wystąpienia nieprawidłowości, obsługa może uruchomić odpowiednie procedury naprawcze przewidziane w DTR.

Główne trudności, które miały miejsce w trakcie dotychczasowej eksploatacji agregatów kogeneracyjnych w AQUA SA

a) Problemy z efektywnością chłodzenia agregatów kogeneracyjnych

W początkowej fazie eksploatacji agregatów kogeneracyjnych okres międzyprzegładowy wynosił 500 motogodzin. W tym okresie badano stan oleju silnikowego w niezależnym laboratorium specjalistycznym i uzyskane wyniki pozwoliły na wy-

łużenie okresu między przeglądami. Obecnie okres ten wynosi 1000 motogodzin.

Głównym problemem eksploatacyjnym agregatów kogeneracyjnych było przegrzewanie układu wydechowego (kolektor wydechowy, turbosprężarka) w okresie letnim. Wynikało to ze zmniejszenia zapotrzebowania na energię cieplną układów technologicznych i ogrzewania oczyszczalni ścieków. Temperatura układu wzrastała do wartości podkrytycznej $\sim 700^{\circ}\text{C}$.

W wypadku agregatu „PETRA” po osiągnięciu temperatury 710°C jednostka była automatycznie wyłączana, w przypadku agregatu Viessmann automatycznie zostaje ograniczona moc produkowanej energii elektrycznej (regulacja w funkcji temperatury spalin). Obecnie, aby maksymalnie wykorzystywać moc zainstalowanych agregatów prądotwórczych, nadwyżka energii cieplnej przekierowywana jest do chłodziń wentylatorowych. Wówczas agregaty prądotwórcze mogą dalej efektywnie wytwarzać energię elektryczną i spalać wytwarzany na oczyszczalni biogaz. W dzisiejszej sytuacji bardzo ważną rolę odgrywa prawidłowa eksploatacja chłodziń wentylatorowych, szczególnie w okresie letnim. W tym okresie w powietrzu jest dużo pyłów i pyłków roślinnych, które osadzają się na chłodziach, obniżając ich sprawność. Wymaga to ciągłego czyszczenia wymienników chłodziń wentylatorowych. W przyszłości może się to okazać niewystarczające, ponieważ eksploatowane przez szereg lat chłodziń wentylatorowe – na skutek odkładania się na wewnętrznych ściankach paneli chłodziń zanieczyszczeń (kamień kotłowy i podobne osady), pochodzących ze starzenia się czynnika chłodzącego – zmniejszają swoją sprawność chłodziń. Sytuacja ta wymaga stałego monitoringu. Istnieje potrzeba opracowania sposobu dynamicznego okresowego czyszczenia wewnętrznej części wymienników, np. przy pomocy odpowiednio dobranych roztworów detergentów i kwasów organicznych, które nie niszczą instalacji rozpuszczają osad i pozwalają na usunięcie nagromadzonych osadów tzw. kamienia kotłowego. Takie czyszczenie najlepiej jest powierzyć specjalistycznej firmie, która gwarantuje wymaganą skuteczność procesu i poszanowanie zasad ochrony środowiska. Dla zapewnienia wymaganej sprawności agregatów kogeneracyjnych bez potrzeby nadmiernej rozbudowy systemu chłodzenia agregatów, w drodze np. zabudowy kolejnych chłodziń wentylatorowych, poszukujemy w oczyszczalni odpowiednio efektywnych odbiorników nadmiaru ciepła powstającego w procesie kogeneracji. Takie rozwiązanie zostanie wdrożone w najbliższej przyszłości przy okazji modernizacji procesu oczyszczania ścieków.

Problemy z nadwyżką energii cieplnej będą się pogłębiać w związku z obecnie prowadzonymi pracami związanymi z dociepleniem komór fermentacyjnych WKF, a tym samym obniżaniem zużycia ciepła.

b) Problemy z przepięciami i zabezpieczeniami w instalacji elektroenergetycznej

W okresie dotychczasowej eksploatacji systemu kogeneracji nastąpiło kilkukrotne nieuzasadnione zadziałanie zabezpieczeń nadprądowych zasilających sekcje I RG2-N/N.

W następstwie tego układy sterowania i automatyki zostały pozbawione napięcia i wtedy agregat kogeneracyjny został automatycznie wyłączony z ruchu.

W przypadku zadziałania powyższych zabezpieczeń zostają pozbawione napięcia obwody gwarantowane (podstawowe) układów technologicznych i systemu sterowania oczyszczalni ścieków. Konieczna była szybka reakcja naprawcza (reset) Działu Utrzymania.

c) Problemy z przepięciami atmosferycznymi

Przepięcia z wyładowań atmosferycznych powodują uszkodzenia czułych obwodów elektronicznych. W ostatnim czasie uszkodzone zostały moduły transmisyjne liczników energii elektrycznej wyprodukowanej w agregatach kogeneracyjnych, a same liczniki energii elektrycznej nie zostały uszkodzone i nie utracono danych pomiarowych.

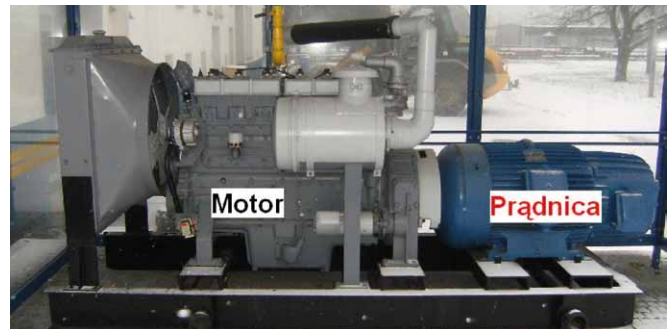
Drugim przypadkiem uszkodzeń spowodowanych przepięciami atmosferycznymi jest uszkodzenie modułu komunikacyjnego systemu SCADA. Wtedy utracony zostaje zdalny podgląd stanu parametrów pracy agregatu VISSMANN.

Mimo zainstalowanych układów przepięciowych na tych instalacjach są one mało skuteczne w wypadku zaistnienia silnych wyładowań atmosferycznych w pobliżu ww. instalacji. Z tych też względów warto się ubezpieczyć od następstw przepięć i utraty danych spowodowanych uderzeniem piorunów.

Podsumowanie

Prowadzone w AQUA SA działania, związane z eksploatacją układów do produkcji biogazu i jego przetwarzania w agregatach kogeneracyjnych na energię elektryczną i ciepłą, są działaniami proekologicznymi, skutecznymi, efektywnymi oraz opłacalnymi ekonomicznie. Uzyskiwane wyniki pokazują, że są to rozwiązania godne polecenia innym użytkownikom, w szczególności z branży wodno-kanalizacyjnej, dysponującymi olbrzymimi możliwościami wytwarzania i przekształcania energii chemicznej biogazu na energię elektryczną i ciepłą. W AQUA SA są także użytkowane inne instalacje proekologiczne, a przy tym dające niezwykle tanią energię ciepłą, np. instalacje pomp ciepła pozyskujące energię konieczną do ogrzewania budynków technologicznych spółki i wody w krytej pływalni. W tych instalacjach pozyskiwana jest energia z wody płynącej w wodociągach i ścieków. Moc zainstalowanych dotychczas w naszej firmie pomp ciepła w siedmiu lokalizacjach wynosi 674 kWt.

Zdobyte doświadczenie i pozyskane w dotychczasowej eksploatacji cenne wskazówki pozwoliły nam na wdrożenie rozwiązań technicznych, technologicznych i organizacyjnych gwarantujących niezawodną pracę instalacji kogeneracyjnych i pomp ciepła zbudowanych w AQUA SA. Te działania AQUA SA świetnie wpisują się w proces poprawy efektywności usługi zbiorowego odprowadzania i oczyszczania ścieków oraz gwarantują klientom niezawodny i ciągły odbiór ścieków po niskich kosztach. Zdajemy sobie sprawę z tego, że nic nie jest dane raz na zawsze i konieczny jest stały proces monitoringu stanu majątku spółki, jego energochłonności, sprawności technicznej, awaryjności i nowoczesności oraz modernizacji i przebudowy. Od czasu do czasu maszyny i urządzenia mogą nadal szwankować, jednak stan ten jest stale monitorowany (np. poprzez prowadzenie okresowych pomiarów drgań mechanicznych), a konieczne działania naprawcze podejmowane są w sposób



Fot. 4. OŚ Komorowice – najstarszy agregat prądotwórczy zasilany biogazem – eksponat muzealny

nadążny. W szczególności analizowane są słabe i mocne strony zbudowanej instalacji kogeneracyjnej, jak również pomp ciepła. W tym celu generowane i wizualizowane są na bieżąco – w trybie online – zapisy zdarzeń, a dla potrzeb kierownictwa dobowe i comiesięczne raporty. Stosownie do ustaleń tych raportów, posiadanej wiedzy obsługi i zdobytego dotychczas doświadczenia przygotowuje się wnioski pozwalające na skuteczne działania profilaktyczne lub modernizacyjne, konieczne dla zapewnienia ciągłości działania. W celu doskonalenia tego procesu AQUA SA wdrożyła systemy zarządzania jakością (SZJ) wg norm: ISO 9001:2008 i 14001:2004. Dodatkowo Laboratorium Centralne AQUA SA posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji na zgodność z normą ISO 17025:2005. Do zarządzania badaniami AQUA SA wykorzystuje specjalny autorski system informacyjny Aq-LAB.

Literatura

- [1] DUDEK P. (RED.): *Wodociągi i kanalizacja w Bielsku-Białej w 110 rocznicę uruchomienia wodociągu w Bielsku (1895–2005)*. Bielsko-Biała 2005.
- [2] OBOZA K., MAJDAK P., MAJDAK P.: *Automatyczne sterowanie dostawą wody. Wybrane aplikacje wdrożone w AQUA SA*. Bielsko-Biała 2013.
- [3] DYREKTYWA 2006/42/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie) Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej. 9.6.2006.
- [4] USTAWA z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz. U. z 2012 r., poz. 1059, z 2013 r. poz. 984 i poz. 1238 oraz z 2014 r. poz. 457, poz. 490, poz. 900, poz. 942 i poz. 1101).
- [5] Instrukcja technologiczna oczyszczalni ścieków w Komorowicach. AQUA SA.
- [6] DTR agregatów kogeneracyjnych PETRA i Viessmann.

Piotr Dudek – AQUA Bielsko-Biała, Prezes Zarządu AQUA SA;
Jerzy Jonkisz – AQUA Bielsko-Biała, Z-ca kierownika działu utrzymania i wodomierzy;
Edward Kochowski – AQUA Bielsko-Biała, Kierownik działu utrzymania i wodomierzy;
Piotr Majdak – AQUA Bielsko-Biała, Specjalista automatyk;
Kazimierz Oboza – AQUA Bielsko-Biała, Dyrektor utrzymania ruchu

artykuł recenzowany