

Doświadczenia z rozruchów układów fermentacji metanowej z odzyskiem biogazu, propozycje ciekawych rozwiązań technologicznych

Maciej Kita

Tatiana Kita

TIM II Maciej Kita

Branża oczyszczania ścieków i obróbki osadów ściekowych stale się rozwija. W całym kraju można zaobserwować intensywny rozwój inwestycji z nią związanych. W dziedzinie usuwania biogenów pojawiało się i nadal pojawia szereg nowych informacji, rozwiązań, urządzeń czy produktów. Również w zakresie obróbki osadów powstają regularnie nowe technologie. W ostatnich latach przeprowadziliśmy i współpracowaliśmy w wielu rozruchach układów mezofilowej fermentacji metanowej z odzyskiem biogazu. Klasycznych układów, będących zwykle podstawą dalszych ewentualnych działań rozwojowych (wprowadzania dezintegracji, pasteryzacji, suszenia czy spalania osadów). Na podstawie doświadczeń i obserwacji tych układów można stwierdzić, że poziom wiedzy znacznej części autorów projektów zatrzymał się na wiadomościach z lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Wprawdzie w miejsce stali czarnej, weszła stal nierdzewna (w dodatku nie zawsze kwasoodporna...) pojawiły się nowe urządzenia pomiarowe, natomiast proponowane rozwiązania technologiczne i techniczne, ich przyjazność dla obsługi, możliwości sterowania pozostają przestarzałe. Stąd w niniejszym referacie postaramy się zasygnalizować problemy najczęściej obserwowane podczas rozruchów i późniejszej eksploatacji oraz zaproponować sprawdzone w praktyce rozwiązania.

Układ fermentacji zostanie omówiony na podstawie klasycznego schematu technologicznego, składającego się z następujących elementów:

- Zbiornika osadów zmieszanych przed fermentacją.
- Pompowni osadu do WKF.
- WKF.
- Maszynowni.
- Kotłowni.
- Sieci biogazowej z osprzętem (w tym ujęciem biogazu).
- Odsiarczalni.
- Pochodni.
- Zbiornika biogazu.
- Zbiornik osadów zmieszanych przed fermentacją.

Zbiornik osadów zmieszanych.

Pierwszym obiektem, przynależnym do węzła obróbki beztlenowej jest zazwyczaj zbiornik, w którym następuje mieszanie osadu wstępnego zagęszczonego z osadem nadmiernym zagęszczonym oraz ewentualnie z osadami dowożonymi. Obserwacje wskazują, że już samo pominięcie tego zbiornika jest błędem. Brak wyrównania podawania osadu (zwykle zagęszczanie prowadzone jest np. na pierwszej zmianie) może powodować zmiany składu biogazu. Z punktu widzenia eksploatacji najpoważniejszy problem dotyczy zwykle żywotności pompy osadu nadmiernego zagęszczonego – podaje ona osad o najwyższej lepkości (świeżo związany polimerem) i najwyższej gęstości. Jeżeli dodatkowo jest on tłoczony do komory fermentacyjnej, co odbywa się przy zwiększonych oporach tłoczenia, wówczas pompa musi posiadać spory zapas wysokości podnoszenia.

W samym zbiorniku szczególnie należy zwrócić uwagę na zastosowany sposób mieszania. Praktyka wykazała, iż w wielu przypadkach mieszadła zatapialne nie sprawdzały się najlepiej w medium o tak wysokiej gęstości i lepkości. Dochodziło do obklejania silnika osadem i w konsekwencji do jego przegrzewania. Wymiana mieszadła na większe nie przynosiła efektu, ponieważ większy silnik generował więcej ciepła. Rozruch obiektów wyposażonych w mieszadła z osią pionową i silnikiem chłodzonym powietrzem (znajdującym się na pomoście) wykazał, że z tego typu urządzeniami nie notowano podobnych problemów.

W zależności od wielkości zbiornika i standardu wykonania (właśnie mieszadło chłodzone powietrzem, z zespołem napędowym poza zbiornikiem, podwójny - niezależny układ ssący do każdej z pomp, itp.), warto rozważyć wykonanie go w postaci obiektu dwukomorowego – wówczas niezależnie od konieczności prac w zbiorniku, ciągłość ruchu oczyszczalni jest zachowana.

Ważnym elementem jest hermetyzacja obiektu. Jeżeli w układzie znajduje się osad wstępny, to po sedymentacji w osadniku i ewentualnej obróbce w zagęszczaczu grawitacyjnym i ewentualnie hydrolizerze, jest on zwykle bardzo uciążliwy zapachowo. Zatem wskazane jest ujęcie zanieczyszczonego powietrza do systemu filtracji. Należy jednak pamiętać, aby wraz z zamykaniem tego obiektu zapewnić odpowiedni standard betonów – przy zmniejszonej krotności wymian powietrza, dochodzić będzie do kondensacji pary na ścianach i dachu zbiornika. Należy również zastosować odpowiednie procedury bezpieczeństwa, ponieważ w przypadku wyłączenia wentylacji mechanicznej dochodzi do gromadzenia gazów niebezpiecznych. Autorzy referatu zetknęli się z przypadkiem obecności gazów na poziomie dolnej granicy wybuchowości. Stąd w procedurach obsługi musi się pojawić zapis mówiący o tym, że jeżeli biofiltr/filtr jest wyłączony, to należy otworzyć klapy włazów i oznakować obiekt.

Pompownia osadu do WKF.

Szczególną uwagę należy zwrócić na standard pompowni osadów do komory fermentacyjnej. Jak wyżej wspomniano, obiekt ten pracuje w wyjątkowo trudnych warunkach. Na pewno warto, aby układ pompowy poprzedzony był maceratorem, a jeszcze lepiej maceratorami, pracującymi przynajmniej w systemie 1+1, zabezpieczającymi pompy. A nadal spotykane są instalacje, w których pompa ta jest instalowana jako pojedyncza. Zatem przy jej zużywaniu się, oczyszczalnia może mieć problemy z przetłoczeniem wymaganej ilości osadu do komory fermentacji. Zwykle najlepiej pracowały układy, w których były przynajmniej dwie pompy. Osobne zagadnienie stanowią różne metody doboru parametrów pomp. Praktyka wskazuje, że pompy podające osad do WKF zwykle tracą wydajność najszybciej ze wszystkich zestawów pompowych. Stąd warto dobierać pompy dla wydajności uzyskiwanej przy częstotliwości np. 35 Hz, co pozwala, aby w miarę ich zużywania się, podnosić częstotliwość zachowując wydajność węzła. Warto również pompy dobierać do pracy cyklicznej, np. zakładając dozowanie osadu co 2 godziny, przy maksymalnie półgodzinnym pompowaniu. Nie wpływa to negatywnie na pracę komory fermentacyjnej, natomiast pozwala podnieść rezerwę ich wydajności oraz zwiększyć wymiary pomp, co umożliwia transport ewentualnych zanieczyszczeń stałych. Warto również zauważyć, że okresowy, wyższy, przepływ osadu wpływa pozytywnie na drożność przelewu z WKF, który nie zatyka się tak szybko jak np. przy stałym bardzo powolnym wypływie.

Komora fermentacyjna.

Kluczowym obiektem stopnia beztlenowej przeróbki osadów jest sama komora fermentacyjna.

Istnieją trzy warianty wykonania konstrukcyjnego komór.

Wariant pierwszy to realizacja żelbetowej konstrukcji komory. Do zalet takiego rozwiązania należy duża odporność na ewentualne nadciśnienie i podciśnienie. Wadami rozwiązania są duży koszt i okres realizacji, jak również brak możliwości modułowej rozbudowy. Nie ma również możliwości wprowadzenia pełnej kontroli materiałów użytych do budowy (np. badania każdej partii betonu oraz sposobu prowadzenia prac). Również koszty ewentualnych uszczelnień są olbrzymie. Praktyka wskazuje, iż w części obecnie realizowanych komór występowały przecieki, a ich uszczelnianie od zewnątrz może powodować brak wystarczającej szczelności od wewnątrz i narażenie zbrojenia na kontakt z osadem lub gazem. Niemniej jednak żywotność prawidłowo wykonanej komory jest bardzo długa.

Drugim wariantem konstrukcji komory jest zastosowanie komory stalowej, z płytami szklawionymi. Zaletą takiej konstrukcji jest modułowość oraz koszt i szybkość realizacji. Niemniej jednak w naszej praktyce do tej pory nie wystąpiła konieczność zmiany wielkości komór. Wadami rozwiązania są: niska odporność na podciśnienie w sytuacjach awaryjnych oraz możliwość występowania korozji w miejscach naruszenia pokrywy ze szkła. Spotkaliśmy się z przypadkami korozji takich komór. W tym przypadku wymieniane były moduły (segmenty) konstrukcji.

Trzeci wariant to konstrukcja stalowa, z pokryciem z tworzywa. Zalety tego rozwiązania są identyczne jak w przypadku komory stalowej, z płytami szkliwionymi. Wadą jest stosunkowo niska, w porównaniu z wariantem poprzednim, odporność na podciśnienie w sytuacjach awaryjnych, przy czym już nie ma tak wysokiej podatności na korozję wynikającą z odpeknięcia powłoki, ponieważ powłoka tworzywowa ma własności plastyczne.

Naszym zdaniem nie ma jedyne, optymalnego rozwiązania, i każdorazowa dokumentacja modernizacji oczyszczalni winna zawierać analizę wariantową kilku rozwiązań.

Spotyka się bardzo różne rozwiązania wykonania dna komory – od płaskich, po stożki wklęsłe, o kącie nachylenia nawet 45%. Rozwiązanie kształtu dna musi być ściśle powiązane z zastosowanym sposobem mieszania (o czym poniżej) Praktyka wielu lat eksploatacji wykazuje jednak, że dna stożkowe są łatwiejsze do czyszczenia i zwykle nie gromadzi się na nich tak dużo namulów i piasku. Przy dobrze wykonanych przewodach cyrkulacji i spustów oraz poprawnie dobranym mieszaniu, czyszczenie stożków nie stanowiło problemu dla obsługi.

Bardzo ważnym elementem wpływającym na warunki eksploatacyjne komory jest ukształtowanie stropu i poduszki gazowej. Jest ono wręcz decydujące z punktu widzenia odporności na stany awaryjne, pienienie, itp. Spotyka się komory z dachem prawie płaskim i poduszką gazową o bardzo dużej powierzchni, jak również i o bardzo dużym nachyleniu – wówczas powierzchnia poduszki gazowej jest niewielka. Warto pamiętać, że zmiana średnicy powoduje spadek powierzchni do potęgi (wzór na pole koła...)! Spotkaliśmy się z przypadkiem, gdzie przy wystąpieniu nawet niewielkiego pienienia osadu, praktycznie niemożliwe było wyłączenie miazdła, gdyż niewielka poduszka gazowa (powierzchnia rzędu kilkunastu metrów kwadratowych i objętość zaledwie ok. 30 metrów sześciennych biogazu) błyskawicznie wypełniała się pianą. Równolegle uruchamialiśmy podobny wielkościowo WKF, w którym mimo podawania dużo gorszego osadu i o intensywniejszym pienieniu, nie dochodziło do wybijania gazu do sieci biogazowej, gdyż poduszka gazowa miała przeszło 200 m² powierzchni i objętość również przekraczającą 200 m³. Żadna z tych komór nie posiadała systemu gaszenia piany. Warto zatem właśnie na ten element zwrócić szczególną uwagę podczas projektowania WKF.

Z punktu widzenia eksploatacji, ważnym zagadnieniem jest kształt komór fermentacyjnych. Musi on być ściśle dostosowany do rodzaju zastosowanego miazdła. Dla miazdeł wolnoobrotowych, z długimi łopatami, optymalne jest stosowanie komór niższych i o średnicy większej, niż dla miazdeł z rurami centralnymi, gdzie komory winny mieć kształt wydłużony, o możliwie niedużej średnicy. Praktyka wykazuje, że wbrew twierdzeniom niektórych dostawców, nie każdy rodzaj miazdła jest dobry do każdego rodzaju komory. Teza ta jest bardzo łatwa do zweryfikowania, niestety zwykle dopiero podczas rozruchu, kiedy ewentualna wymiana jest już niemożliwa. Jeżeli w komorze obserwujemy znaczne skoki produkcji biogazu, gwałtowne zmiany temperatury lub po zmianie kierunku obrotów miazdła gwałtownie spada poziom, oznacza to, że jakaś część komory nie jest mieszana.

Istnieją różne sposoby mieszania zawartości komór fermentacyjnych. Zestawiono je w poniższych tabelach.

Rodzaje systemów mieszania komór fermentacyjnych.

Nazwa	Opis	Rekomendacja
Sprężonym biogazem	Biogaz pobierany z kopuły włączany jest za pomocą sprężarek i lanc do komory.	Negatywna – duże zużycie energii, brak przeciwdziałania pienieniu, zwykle konieczność odolejania biogazu po sprężarkach.
Podciśnieniowe pulsacyjne	Na kopule WKF zabudowana komora ssąco-zrzutowa, osad jest zasysany i zrzucany	Negatywna – wymagana droższa konstrukcja WKF, słabe gaszenie piany.
Pompowe	Osad pobierany jest z wnętrza komory i poprzez układ pomp włączane w innym miejscu komory	Negatywne jako podstawowe – bardzo duże zużycie energii, pozytywne – jako wspomagające oraz do gaszenia piany.
Mieszadłem szybkoobrotowym	W komorze zabudowane jest mieszadło szybkoobrotowe o małej średnicy, pracujące poprzez pionową rurę wznoszącą	Pozytywne, opis poniżej.
Mieszadłem wolnoobrotowym	W komorze zabudowane jest mieszadło wolnoobrotowe o dużej średnicy.	Pozytywne, opis poniżej.

Można stwierdzić, że należy unikać stosowania innych metod mieszania zawartości komór fermentacyjnych, niż z wykorzystaniem mieszadeł.

Z kolei porównanie systemów mieszania śmigłowego zawarto w poniższej tabeli.

Porównanie systemów mieszania śmigłowego. Mieszadła wolno- i szybkoobrotowe.

Mieszadła szybkoobrotowe	Mieszadła wolnoobrotowe
Rewersyjna praca mieszadła pozwala likwidować powstającą na powierzchni osadu pianę. Działanie w większości WKF skuteczne – zwłaszcza, jeśli jest możliwość manewrowania kierunkiem obrotów.	Za zatapianie piany odpowiada górne śmigło co przy wolnych obrotach nie zapewnia dobrej skuteczności. W praktyce – możliwe zatapianie części pływających, natomiast gaszenie piany zwykle nie istnieje
Moc mieszadła zwykle wyższa niż w mieszadłach wolnoobrotowych o parę kilowatów.	Niższa moc niż dla mieszadeł z rurą centralną.

Mieszadła szybkoobrotowe	Mieszadła wolnoobrotowe
Zawartość zbiornika jest mieszana niezależnie o kierunku obrotu mieszadła	Zawartość zbiornika jest mieszana przy obrotach mieszadła w jednym określonym kierunku, przy zmianie kierunku obrotów mieszania praktycznie nie ma.
By usunąć zanieczyszczenia włókninami z wirnika mieszadła zmienia się kierunek obrotów, po zmianie kierunku mieszadło nadal miesza zawartość zbiornika	By usunąć zanieczyszczenia włókninami ze śmigieł mieszadła zmienia się kierunek obrotów, po zmianie kierunku mieszadła zawartość zbiornika zwykle nie jest mieszana w wystarczającym stopniu.
Możliwe jest wyciągnięcie całego mieszadła z wirnikiem ze zbiornika bez konieczności jego opróżniania (nie dotyczy rury centralnej)	Nie ma możliwości wyjęcia mieszadła ze zbiornika bez jego opróżnienia
Na konstrukcję komory oraz kopułę gazową nie działają duże momenty a obciążenie mieszadłem ma głównie kierunek pionowy	Na konstrukcję komory oraz kopułę gazową działają znacznie większe siły i momenty niż w przypadku zastosowania mieszadła szybkoobrotowego
W przypadku komór o znacznej wysokości i mniejszej średnicy wystarczy jedynie zwiększenie długości rury centralnej bez konieczności ingerencji w konstrukcję samego mieszadła	W przypadku komór o znacznej wysokości i mniejszej średnicy koniecznej jest stosowanie wałów składających z wielu odcinków oraz większej ilości śmigieł. Zalecane komory niższe i szersze
Wlot do rury centralnej umieszczony jest w niewielkiej odległości nad dnem zbiornika zapewniając zasysanie osadu z samego dna dolnego stożka. Dno jest czyste, ale należy zwrócić uwagę na oddziaływanie na przewód waporowy osadu prefermentowanego.	Dolne śmigło mieszadła musi być umieszczone w określonej odległości od dna zbiornika. Przy dużej wysokości dolnego stożka, wielkość dolnego śmigła ogranicza możliwość jego instalacji przy dnie przez co dolna część zbiornika nie jest odpowiednio mieszana. Obserwuje się często odkładanie zawiesin.
Niska tolerancja zmienności poziomu osadu – zwykle nie więcej niż +/- 15 cm	Wyższa tolerancja zmienności poziomu osadu

Należy zwrócić uwagę (poza aspektami technologicznymi), że mieszadło z rurą centralną jest znacząco droższe od mieszadeł wolnoobrotowych. Ważnym aspektem jest rodzaj i dostępność stosowanego smaru. Niektórzy dostawcy zastrzegają dostawę środków smarnych, co znacząco wpływa na koszty eksploatacji. Smar stosowany jest nie tylko do łożysk, ale i zabezpieczenia uszczelnienia wału.

Poniżej porównano uszczelnienia mechaniczne i labiryntowe.

Uszczelnienia mechaniczne	Uszczelnienia labiryntowe
<p>Wał mieszadła uszczelniony jest uszczelnieniem wargowym smarowanym, smar jest podawany w sposób ciągły przez automatyczną pompę smaru. Konieczny jest zakup smaru i późniejsze jego usuwanie.</p> <p>Wymiana uszczelnienia – wymaga zakupu nowego.</p>	<p>Wał mieszadła uszczelniony jest za pomocą uszczelnienia labiryntowego wypełnionego cieczą, poziom cieczy w niektórych rozwiązaniach trzeba stale kontrolować i uzupełniać. Nie ma potrzeby wymiany uszczelnienia – nie zużywa się.</p>
<p>Stosowane zawsze w mieszadłach szybkoobrotowych i niekiedy w wolnoobrotowych</p>	<p>Praktycznie wyłącznie do mieszadeł wolnoobrotowych</p>

Z uwagi na konieczność zagwarantowania stabilności procesu, pewności usuwania piany, właściwych możliwości konserwacji i obsługi (zwłaszcza pojedynczej komory fermentacyjnej) zdaniem autorów jednym z lepszych rozwiązań jest mieszadło z rurą centralną. Ciekawym rozwiązaniem jest mieszadło wolnoobrotowe znajdujące się w rurze o średnicy kilku metrów. Jednak doświadczenia z jego eksploatacji (uruchamiane przy współpracy autora w końcu 2014 roku) są jeszcze niewielkie.

Elementem wpływającym na bezpieczeństwo eksploatacji i komfort obsługi jest odpowiednia konstrukcja przelewu roboczego. Należy pamiętać, że poziom osadu w komorze przy pracy pod ciśnieniem biogazu i w okresie rozruchu, intensywnego pienienia, itp. (bez odbioru biogazu) różni się o wartość ciśnienia. Stad, w przypadku stosowania mieszadeł z rurą centralną, konieczne jest na ogół stosowanie przelewów regulowanych. Odpowiednio duży zakres regulacji pozwala dodatkowo na płukanie przewodu waporowego, poprzez okresowe obniżanie przelewu i gwałtowny wypływ osadu. Dostęp do przelewu jest niezbędny również do płukania WUKO, o ile nie posiadamy odpowiedniego układu przewodów cyrkulacyjnych (o czym poniżej).

Bardzo ważnym aspektem inwestycji, wpływającym na późniejsze warunki eksploatacji i komfort pracy obsługi, jest wyposażenie komory fermentacyjnej. Biorąc pod uwagę jego koszt, znikomy w stosunku do ceny budowy całej komory, zaskakujące jest jak często jest ono mocno ograniczone, a czasem brakuje nawet podstawowych urządzeń.

Elementem niezwykle często pomijanym w projekcie są wzierniki. Brak wziernika lub zastosowanie szkła o średnicy np. 20 cm lub mniejszej powoduje, że komora staje się „czarną skrzynką”. Operator nie wie, czy nie dochodzi do wydzielania piany, czy na powierzchni nie wytworzyły się złogi, itp. Obligatoryjnym elementem wyposażenia wziernika musi być obustronna wycieraczka oraz pokrywa, która ogranicza osiadanie kurzu. W bogatszych inwestycjach stosuje się stałe lampy, przy czym są one kosztowne, ponieważ muszą to być specjalne lampy przystosowane do pracy w strefie gazoniebezpiecznej.

Kolejnym ważnym elementem wyposażenia są sondy pomiarowe.

Warto tu zwrócić uwagę na trzy pomiary: temperatury, poziomu oraz odczynu. Zdaniem autorów stosowanie pomiaru potencjału redoks nie ma żadnego sensu. Pomiary temperatury w procesie pozwalają na ocenę dwóch parametrów – samej temperatury procesu jak również (o ile termometry są dobrze rozmieszczone) prawidłowości wymieszania komory. Zaleca się montaż minimum 4 termometrów dla mniejszych komór: na płaszczu WKF na dole i górze, po przeciwnych stronach oraz na ssaniu i tłoczeniu obiegu grzewczego. Przy większych komorach stosuje się np. trzy termometry na płaszczu, zlokalizowane na różnych wysokościach. Termometry te mogą dodatkowo służyć do sterowania ogrzewaniem, a termometr zabudowany na tłoczeniu (czyli za wymiennikami) zabezpiecza przed zapiekaniem komór. Należy pamiętać, aby termometry płaszczu WKF były zainstalowane w pochwach ochronnych. Wówczas w razie uszkodzenia można go wymienić. Znane są przypadki niesprawnych termometrów czekających latami na możliwość wymiany dopiero po opróżnieniu komory.

Warto stosować pomiary poziomu osadu w komorze. Pozwalają one na kontrolę wysokości osadu (zatykanie przelewów jest jednym z najczęstszych problemów eksploatacyjnych). Dodatkowo, jeżeli komora posiada pomiar poziomu piany, istnieje pełna kontrola obecności piany w komorze. Na sposób montażu sond poziomu w komorze należy zwrócić szczególną uwagę, albowiem tylu błędów w instalacji nie obserwowaliśmy dla żadnego innego pomiaru. Stosowane są nieraz pomiary hydrostatyczne. Są one bardzo dobre, ale pod warunkiem zabudowy w górnej części komory, nieznacznie zanurzonych. Jeżeli sonda jest zainstalowana przy dnie komory, wartość wskazywana jest wypadkową słupa cieczy, zawartości w niej osadu i gazu. W konsekwencji, jeśli komora jest mocno zagazowana, wskazywany poziom osadu jest niższy, niż w rzeczywistości. Wystarczy, aby na każdym metrze błąd napełnienia wynosił 1%, i przy 15 metrowej komorze fermentacyjnej wielkość błędu odpowiada tolerancji wahań zwierciadła dla mieszaniny! Jeżeli sonda ciśnienia montowana jest na obiegu pompowym, a zatem dochodzą opory/nadwyżki ciśnienia wynikające z oporów przewodu i pracy pompy, z wartości ciśnienia można zwykle odczytać co najwyżej cykl pracy pompy.

Montaż sond ultradźwiękowych również wiąże się z szeregiem problemów. Jeżeli w komorze fermentacyjnej pojawia się piana, nie mamy wiedzy o rzeczywistym poziomie osadu.

Lokalizacja sondy również ma niebagatelne znaczenie. Jeśli jest ona zlokalizowana przy mieszadle śmigłowym, wartość wskazywana odzwierciedla wysokość strugi wyrzucanej przez mieszadło. W efekcie sonda jest miernikiem pracy mieszadła, a nie poziomu osadu.

Praktyka ostatnich rozruchów wykazała, że najlepiej sprawdzały się sondy radarowe o dużej średnicy oraz hydrostatyczne, montowane na kopułach.

Ostatnim z pomiarów, lokalizowanym z uporem przez projektantów właśnie na płaszczu (lub co gorsza w komorze przelewowej) jest pomiar odczynu. Jest to pomiar niezbędny dla szybkiej kontroli pracy komory, ale zabudowa go na przewodzie cyrkulacji grzewczej w maszynowni, nie tylko daje lepsze wyniki (sonda jest omywana szybkim strumieniem, wciąż świeżego osadu, a nie tkwi w jakiejś bocznej przyściennej strefie), ale i zasadniczo

wpływa na komfort obsługi, w ciepłym, zamkniętym pomieszczeniu, ze świeżą wodą i umywalką w zasięgu ręki.

Warto zadbać, aby całość kompleksu była funkcjonalna i nadawała się do usuwania ewentualnych awarii czy nawet zatknięć przewodów. Dlatego obiekty, w których przewody są prowadzone wewnątrz klatek schodowych, a same przewody skręcane kołnierzowo z odcinków, dają zupełnie inną swobodę napraw.

Elementy gazowe kopuły WKF będą omówione dalej – w części gazowej.

Maszynownia WKF.

Obiektem kluczowym i dającym najwięcej możliwości ułatwienia pracy operatorowi jest maszynownia WKF. Standardowo układ maszynowni wygląda następująco: pobór osadu z WKF, pompy obiegowe (2 przy jednym WKF, 3 przy dwóch komorach), wymienniki ciepła (jak pompy), doprowadzenie świeżego osadu, tłoczenie do komory. Czasem obieg posiada dodatkowo macerator. Osad jest podgrzany. I to wszystko... Tymczasem ten obiekt pozwala na realizację licznych operacji, umożliwiających wydłużenie żywotności komory, pozwalających na jej czyszczenie, płukanie przewodów, gaszenie piany. Standardy obiegów powinny być następujące:

- Pobór z dna (ok. zwykle 50 cm nad dnem) lub z pobocznicy (ściany) WKF w dolnej części – do wyboru przez operatora, odcinane zasuwami z napędami ręcznymi.
- Tłoczenie osadu w górnej części WKF, na kopule, powyżej poziomu biogazu w sposób rozdeszczający osad, zapewniający gaszenie piany i topienie ewentualnych części pływających. **JEST TO BARDZO WAŻNY ELEMENT UKŁADU – SPRAWDZONY W PRAKTYCE NA SZEREGU WKF NASZEJ TECHNOLOGII.**
- Odbiór do obiegu WKF wtłoczonego osadu wstępnego zagęszczonego oraz nadmiernego do obiegu grzewczego z opcją podawania przed i za pompę obiegową, celem prawidłowego zaszczepienia osadu. Tu warto, jeżeli wymienniki są odpowiedniej konstrukcji, aby osad był tłoczony przed wymiennik, co umożliwia jego dobre rozmieszanie z osadem cyrkulowanym.
- Zrzut osadu prefermentowanego w postaci waporowej, z dna WKF, poprzez przelew regulowany do zbiornika osadu prefermentowanego.
- Zapewnienie układu połączeń umożliwiających pobór osadu ze ściany komory fermentacyjnej do obiegu grzewczego i przepłukanie stożka dennego poprzez tłoczenie osadu przewodem dennym ssawnym układu obiegu grzewczego. **ROZWIĄZANIE SPRAWDZONE W PRAKTYCE – POZWALAJĄCE NA PEŁNE ZABEZPIECZENIE DROŻNOŚCI OBIEGU.**
- Zapewnienie układu połączeń umożliwiających pobór osadu ze ściany (jw.) oraz przepłukanie strumieniem tłocznym przewodu przelewowego osadu prefermentowanego i to zarówno w stronę przelewu teleskopowego jak i dna stożka WKF. Uwaga! Należy zapewnić możliwość tłoczenia w kierunku dna z odcięciem wylotu przelewem teleskopowym (przelew musi mieć zamknięcie, w innym przypadku

część osadu wypływa). ROZWIĄZANIE SPRAWDZONE W PRAKTYCE – POZWALAJĄCE NA PEŁNE ZABEZPIECZENIE DROŻNOŚCI OBIEGU.

- Przelew awaryjny WKF. Nawet w ostatnim okresie czasu uruchamialiśmy komorę bez przelewu awaryjnego.
- Spust części pływających.

Układy technologiczne obiegów komory fermentacyjnej realizować muszą następujące funkcje:

Obieg grzewczy służy do zachowania właściwej temperatury komory fermentacyjnej, pozwala na prawidłowe rozmieszanie i zaszczepienie świeżego osadu, spełnia rolę mieszania pomocniczego (awaryjnego) oraz pozwala na wzruszenie osadów znajdujących się na dnie komory. Osad z komory fermentacyjnej w normalnych warunkach pobierany jest zwykle z dna i kierowany poprzez jeden z maceratorów oraz pompę do odpowiednich wymienników ciepła a następnie z powrotem do WKF. Zwykle zakłada się, iż w podstawowym układzie pracy ruch odbywać się będzie za pomocą jednej pompy obiegowej, a druga (może być wspólna np. dla dwóch komór) pełni funkcję rezerwową. Winno przewidywać się ciągłą pracę układu pompowego i regulację dostawy ilości ciepła, poprzez sterowanie temperaturą wody zasilającej wymienniki ciepła, a nie zmiany ilości wody i podawanie stale cieczy o wysokiej temperaturze. Dobrze jest przewidzieć również możliwość poboru osadu z króćca zlokalizowanego przy ścianie WKF (np. w górnej części stożka), co pozwala zmienić kierunek przepływu w dennym przewodzie ssącym i wykorzystać go do tłoczenia osadu i wzruszania namulów dennych. Przewidywana wydajność pomp musi zapewnić min. 100% wymiany objętości komory fermentacyjnej w ciągu doby, co umożliwia przy okazji awaryjne mieszanie komory w razie awarii mieszadła (o czym zdarza się projektantom zapomnieć). Winną stosować się zabudowę dla pojedynczej komory dwóch wymienników o mocy umożliwiającej dogrzanie podawanego średnio przez 18 godzin dziennie osadu oraz pokrycie wszelkich strat dla WKF (przy obliczeniowej temperaturze fermentacji min. 38°C) i pracy jednego wymiennika. Obliczona wstępnie moc minimalna, uzależniona jest od doboru konstrukcji i izolacji WKF, ale powinna uwzględniać straty sprawności w wyniku zapiekania wymiennika! Wymiennik służy do ogrzania osadu recyrkulowanego z/do WKF dla podanego zakresu parametrów roboczych oraz przy założeniu maksymalnej zawartości suchej masy do np. 8%. Jakże często jednak spotyka się dobór wymienników dokładnie na wartości minimalne, co powoduje później szereg problemów z recyrkulacją czy ogrzewaniem. Wymiennik ciepła najlepiej jak jest zaprojektowany i dobrany wymiarowo dla przepływu przeciwpłądowego, dlatego też, dla zapewnienia obliczeniowej wymiany ciepła podłączenie wody grzewczej w stosunku do osadu, musi zapewnić przepływ przeciwpłądowy.

Ponieważ kolektor ssący denny poprowadzony jest zwykle wznosząco wewnątrz komory do przejścia przez jej ścianę, przy przejściu należy wykonać otwór odgazowujący do wnętrza WKF. Następnie należy go poprowadzić ze spadkiem w kierunku pomp cyrkulacyjnych, tak, aby były one najniższym punktem instalacji, a nie znajdowały się na wyniesionych

fundamentach. Wówczas ich uruchamianie staje się męką dla obsługi (odgazowywanie wirników). Kolektor od pomp do wymienników również należy prowadzić w sposób redukujący powstawanie korków gazowych. Kolektor tłoczny do WKF należy poprowadzić najlepiej na estakadzie tak, aby dochodziło do samoczynnego odgazowywania wymienników.

Kolejnym układem jest spust osadu przefermentowanego.

Układ pracy polega na samoczynnym wypieraniu osadu przefermentowanego z dna komory do kieszeni przelewowej w WKF i odpływie grawitacyjnym do istniejącej komory fermentacyjnej otwartej (OBF). W tym przewodzie bardzo często dochodzi do odkładania się złożeń i zatykania – stąd zawsze należy pamiętać o możliwości płukania strumieniem medium z obiegu cyrkulacyjnego.

Winno również być możliwe opróżnienie komory spustem z obiegu grzewczego. Należy wówczas wykonać obejście umożliwiające pobór osadu z tego obiegu (sprzed punktu tłoczenia świeżych osadów) do węzła odwadniania lub zbiornika magazynowego osadu przefermentowanego.

Ważnym elementem instalacji są układy pomocnicze. Możliwe jest uzyskanie szeregu dodatkowych funkcji realizowanych przez projektowane układy instalacji i urządzeń. To właśnie one stanowią o możliwościach obsługi i eksploatacji komór.

Płukanie stożka dennego.

Z uwagi na możliwość osadzania się części stałych na dnie komory cennym rozwiązaniem jest zapewnienie możliwości płukania dna poprzez wtrysk osadu z obiegu grzewczego. Jest to zwykle realizowane poprzez pracę obiegu grzewczego z przepływem poprzez otwarte zasuwki poboru osadu przez ścianę, przy zamkniętych zasuwkach poboru ze stożka i tłoczenia na wierzchołek komory.

Opróżnianie komory.

Ważne jest, aby zapewnić możliwość opróżnienia WKF poprzez spust oraz z przewodu tłocznego pomp cyrkulacyjnych do zbiornika osadu przefermentowanego – znacznie przyspiesza to wszelkie czynności konserwacyjne. Wyższym standardem jest możliwość pracy dwukierunkowej, czyli możliwość zaszczipienia zwrotnie komory tym osadem po jej wyczyszczeniu i konserwacji.

Opróżnianie oraz odpowietrzanie przewodów:

To powinno odbywać się w pełni samoczynnie lub być możliwe do łatwej realizacji przez obsługę. Pompy obiegu grzewczego: odpowietrzanie poprzez zawory znajdujące się pod zaworami zwrotnymi (o czym nagminnie się zapomina), a odwadnianie - poprzez odwadniacze w króćcach ssawnych. Przewody zawsze należy ułożyć ze spadkiem tak, aby pompy znajdowały się w najniższym punkcie. Przebieg przewodów wytyczyć tak, aby nie dochodziło do tworzenia korków gazowych.

Przewód tłoczny układu mieszania: odpowietrzanie poprzez wydmuch do komory fermentacyjnej, przy czym należy zapewnić króćce spustowe i poboru osadu.

Przewód przelewowy: nie ma potrzeby odpowietrzania. Instalacja od góry jest otwarta.

Przewód spustowy z dna komory: odpowietrzenie odbywa się samoczynnie w momencie spustu osadu.

Kotłownia.

Projektowanie i realizacja projektów kotłowni zwykle opiera się na dokumentach przygotowywanych przez wyspecjalizowane firmy podwykonawcze. Niestety, praktyka ostatnich rozruchów pokazała, że zazwyczaj są specjalizują się one w typowych kotłowniach. Praktycznie prawie wszystkie uruchamiane przez nas w ostatnich latach kotłownie posiadały bogate sterowanie – pogodowe... A przecież rolą kotłowni jest przede wszystkim zapewnienie ciepła technologicznego.

Kolejną rzeczą nagminnie utrudniającą rozruch i eksploatację jest brak połączenia systemów sterowania – jeżeli obiekt posiada i agregaty i kotły, to nigdy nie ma powiązania w sterowaniu, zapewniającego pracę kotłów wyłącznie w trybie awaryjnym (rezerwowym wobec kotłów) i zapewniającego optymalizację gromadzenia gazu dla potrzeb agregatów.

Znacznym uproszczeniem w rozwiązaniu nitki gazowej jest zasilanie wszystkich odbiorów poprzez dmuchawy podnoszące ciśnienie biogazu. Tymczasem dla eksploatacji o wiele prościej i bezpieczniej (np. na wypadek awarii dmuchaw) jest zażądać zasilania palników kotłów bezpośrednio ciśnieniem sieci. Da się to zrealizować i takie rozwiązanie działa – wymaga jedynie zastosowania odpowiednich palników. Dmuchawy biogazu są wówczas sterowane bezpośrednio z agregatów. Jeżeli agregat się włącza, wcześniej uruchamia się przynależna dmuchawa. Należy bowiem również pamiętać, że dmuchawy biogazu nie powinny pracować bez odbioru gazu, gdyż może dojść do przegrzania uszczelnień i uszkodzenia dmuchawy. Zwykle też (prawie wszystkie znane instalacje) projekt nie przewiduje połączenia sterowania dmuchaw z odbiorami, co wymusza konieczność ręcznego sterowania przez obsługę.

Sieć biogazu.

Biogaz powstający w komorze fermentacyjnej musi być ujmowany przez ujęcie i poprzez sieć biogazową kierowany do dalszej obróbki i zagospodarowania. Ujęcie może być skonstruowane na szereg sposobów. Najprostsze składa się z przewodu odbierającego biogaz i kierującego go do sieci. Wersje bogatsze wyposażone są w zasuwę odcinającą, kominek wydmuchowy (również z zasuwą), manometry (w tym z przekazem elektronicznym), kontrolę obecności piany, a nawet złoże do gaszenia wyposażone we wtrysk wody. Ważnym elementem wyposażenia gazowego są bezpieczniki. WKF może być wyposażony w bezpiecznik mechaniczny lub cieczowy. Bezpieczniki mechaniczne bezwzględnie muszą być ogrzewane. W przeciwnym razie istnieje ryzyko zamarznięcia, gdyż biogaz jest wilgotny. Należy też mieć na uwadze, że bezpiecznik mechaniczny wyposażony jest w przerywacz płomienia w postaci gęstego „sitka” ze stali, odbierającego energię płomienia. Oznacza to, że nie nadaje się on jako jedyne zabezpieczenie komory. Nawet krótkotrwały wypływ piany potrafi go całkowicie zatkać, co powoduje, że bezpiecznik nie spełnia swojej roli. Zdecydowanie lepsze są bezpieczniki cieczowe. Zdaniem autorów zabudowa bezpieczników mechanicznych nie jest wówczas konieczna.

Bezpieczniki cieczowe możemy podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne (tj. takie, których komora cieczowa schowana jest we wnętrzu komory). Obsługa bezpiecznika polega na kontroli i ewentualnej wymianie cieczy. Oczywiście jest, że w przypadku bezpiecznika wewnętrznego wymiana cieczy nie jest konieczna – jest on chroniony przed zamrażaniem. Przy doborze bezpiecznika należy żądać kierunkowego układu wylotu. W razie wyrzutu cieczy z gazem nie dojdzie do narażenia bezpieczeństwa obsługi, jak w przypadku bezpiecznika z prostym kominkiem wylotowym. Warto również dobierać bezpieczniki z przewodem wylotowym zaopatrzone w przegrody, hamujące wyrzut cieczy. Każdy bezpiecznik powinien mieć poza tym zaznaczone zakresy poziomu cieczy, w stanie beciśnieniowymi ciśnieniowym, o czym większość dostawców zapomina.

Ważnym elementem sieci biogazowej są odwadniacze. W biogazie znajduje się para wodna, która kondensuje w sieci, generując znaczne ilości wody. Najstarszym rozwiązaniem tego problemu było zastosowanie odwadniaczy ręcznych. Wykonane są one w postaci beczek, zabudowanych w najniższych punktach sieci, z których ciecz usuwana jest pompką ręczną lub pneumatyczną. Rozwiązanie to jest bardzo uciążliwe w eksploatacji. Warto zatem przynajmniej zainstalować lance sięgające do dna beczek, tak, aby obsługa mogła nosić samą pompkę. Lepszym rozwiązaniem jest stosowanie odwadniaczy samoczynnych – tj. zasyfowanego odprowadzenia cieczy do najbliższej kanalizacji. Warto zabezpieczyć się co najmniej podwójnym syfonem, gdyż w razie przebicia, biogaz może przedostać się do kanalizacji. Jeżeli kanalizacja znajduje się wyżej, niż sieć gazu, stosowane są odwadniacze pompowe, z wykorzystaniem małych pompek elektrycznych. Tu należy pamiętać, aby pompa zawsze znajdowała się w innej komorze niż odcięcie wodne, gdyż nawet „zawieszenie się” czujnika nie spowoduje wówczas wypompowania całej wody i wydmuchu biogazu. Warto też instalować podgląd w systemie AKPiA. Zbyt długa praca pompy jest wówczas sygnalizowana alarmem, co zapobiega jej przegrzaniu i uszkodzeniu.

Odsiarczanie biogazu.

Biogaz usuwany z komór fermentacyjnych zawiera zawsze mieszaninę gazów, w której oprócz metanu i dwutlenku węgla znajdują się również inne, niepożądane gazy. Szczególnie szkodliwy jest siarkowodór, który powoduje niszczenie (korozję) urządzeń. Niezbędne jest zatem wprowadzenie układu jego usuwania, czyli odsiarczalni. Wyróżnia się następujące metody odsiarczania biogazu:

- Chemiczne (suche i mokre).
- Biologiczne (tlenowe, niedotlenione).
- Mieszane.

Najpopularniejsze metody chemiczne suche to:

- Ruda darniowa.
- Proszki.
- Granulaty firmowe.

Najpopularniejsze metody chemiczne mokre to:

- Roztwory chelatowego żelaza.
- Płuczki NaOH.
- Dodawanie PIX, FeCl₃.

Z uwagi na koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne nie zaleca się dla większości oczyszczalni, czyli przewidywanej, niewielkiej wielkości przerobu biogazu stosować metod mikrobiologicznych. Przy większych oczyszczalniach (powyżej 100 tys. RLM) zaczynają one jednak w tej chwili być konkurencyjne. Również proponuje się wyeliminować metody mokre chemiczne, zarówno biorąc pod uwagę koszty jak i uciążliwość obsługi. Zdecydowanie nie zaleca się metody usuwania z użyciem koagulantu żelazowego, dozowanego do komory fermentacyjnej. Jest to metoda bardzo kosztowna eksploatacyjnie, a dodatkowo mogąca powodować korozję instalacji. Zwykle stosuje się najpopularniejszą suchą metodę odsiarczania biogazu, która jest ekonomicznie i obsługowo optymalna dla oczyszczalni ścieków średniej i małej wielkości, tj. odsiarczanie suche z użyciem granulatu w wydzielonej odsiarczalni. Należy stosować odsiarczalnię o odpowiedniej wielkości (Uwaga! Jeśli nie określimy w projekcie wielkości złoża, Wykonawca zwykle dostarcza najmniejszy dostępny model!), wykonany z materiałów odpornych na korozję, temperaturę oraz oddziaływanie wszystkich czynników środowiskowych (biogaz). Na kolektorze dolotowym oraz na wylotowym należy zabudować króćce do poboru próbek z zaworami i typowymi końcówkami gazowymi, wyprowadzone do poziomu umożliwiającego pobór prób z poziomu terenu. Obok króćców na kolektorach należy zabudować termometry elektroniczne oraz ciśnieniomierze elektroniczne oraz zwykłe. Jedynym elementem, przy dobrze wykonanej sieci biogazowej, w której nie powstają korki. wodne, mogącem zablokować przepływ biogazu jest właśnie odsiarczalnia, stąd przekaz elektroniczny ciśnienia błyskawicznie dostarcza informacji o jej oporze. Całość sygnałów musi zostać przesłana do systemu AKPiA oczyszczalni. W ramach odsiarczalni należy zabudować również system symultanicznej regeneracji złoża powietrzem, również podłączony do systemu AKPiA. Wieloletnie obserwacje pracy systemów odsiarczania wyposażonych w układy regeneracji wykazuje o wiele dłuższą żywotność złoża. Wszystkie przewody towarzyszące winne być wykonane ze stali nierdzewnej. Spotyka się bowiem często przewody wykonane z tworzywa sztucznego, co w komorach odsiarczania nie jest właściwym rozwiązaniem. Elementem często pomijanym w projektach modernizacji jest zagospodarowanie terenu wokół odsiarczalni, umożliwiające swobodny dojazd środkami transportu. Zaleca się wokół odsiarczalni wykonać opaskę z kostki wibroprasowanej o szerokości min. 1 metra oraz dojazd, zapewniający transport złoża. Wożenie wypełnienia po trawniku (zdarzyło się na rozruchu) w okresie pory deszczowej nie przyspiesza pracy.

Zbiornik biogazu.

Produkcja biogazu nigdy nie jest równomierna, choćby z uwagi na zmienną ilość osadów podawanych do procesu fermentacji oraz ich skład, wynikający choćby z okresowej pracy zwykle stosowanego zagęszczacza mechanicznego do osadu nadmiernego. Dodatkowo zapotrzebowanie na biogaz nie rozkłada się równomiernie w trakcie doby. Możliwość retencji biogazu pozwala na zwiększenie produkcji energii elektrycznej w godzinach szczytowych. Sieć biogazowa posiada ponadto niewielką kubaturę, stąd i zmiany ciśnienia są w niej znaczne, co wpływa na niestabilną pracę odbiorów. Stąd zaleca się zastosowanie zbiornika biogazu. Dzięki jego użyciu możliwe jest również dodatkowe osuszenie biogazu (wykroplenie kondensatu na płaszczyźnie zbiornika). Proponuje się zastosowanie zbiornika o minimum sześciogodzinnej retencji. Jest to wielkość pozwalająca na skuteczne ustabilizowanie składu biogazu oraz na swobodne kształtowanie pracy odbiorników. Przy mniejszym zbiorniku obserwuje się często bardzo dużą ilość wilgoci w biogazie.

Rozróżniamy kilka rodzajów zbiorników biogazu. Najpopularniejsze obecnie są zbiorniki membranowe. Zbiornik dwumembranowy jest niskociśnieniowym systemem magazynowania biogazu. Wentylatory powietrza, wykonane w wersji iskrobezpiecznej, włączają 24h/d powietrze pomiędzy membrany w celu utrzymania stałego nadciśnienia w sieci oraz ochrony przed zewnętrznymi siłami takimi jak: wiatr czy śnieg. Wentylator jest wykonany w stopniu ochrony EEX-e-II-T3, materiał obudowy wentylatorów to szare żeliwo lub stal St37 zabezpieczona antykorozyjnie. Osobne złącze elastyczne łączy wentylator powietrza z membraną zewnętrzną. Ze względów bezpieczeństwa oraz dla potrzeb płynnej regulacji wydatków i ciśnienia, system powietrzny wyposażony jest w przepustnicę regulacyjną. Przepustnica reguluje ciśnienie robocze i zamyka się całkowicie w przypadku spadku ciśnienia do poziomu minimalnego roboczego, które liczone jest dla potrzeb utrzymania w odpowiednim stanie zewnętrznej membrany ochronnej (awaria wentylatora powietrza, brak zasilania itp.). Przed nadciśnieniem system biogazu chroniony jest przez bezpiecznik cieczowy, wypełniany cieczą niezamarzającą. Wydatek wydmuchu z bezpiecznika pokrywa całkowity przepływ biogazu, dla poziomu maksymalnego nadciśnienia w zbiorniku. Klapy zwrotne są umieszczone bezpośrednio za wentylatorami powietrza. Znacząco redukują wypływ powietrza w przypadku z systemu przez niepracujący wentylator. Klapa jest urządzeniem nie iskrzącym. Pomiar położenia membrany magazynowej daje optymalną informację o stopniu wypełnienia zbiornika oraz może być wykorzystywany do prawidłowego sterowania współpracującymi obiektami takimi jak: pochodnia, kocioł i generator. Stopień ochrony EEx m II T4.

Wyposażenie zbiornika winno obejmować szafę sterowania dmuchawami powietrza i sygnalizacji stanu napełnienia zbiornika biogazu – wyświetlacz musi być widoczny bez konieczności otwierania drzwi szafki. Znane przypadki gdy sprawdzenia na miejscu poziomu musiał dokonywać elektryk, ponieważ wyświetlacz schowany w szafie rozdzielni. System sygnalizacji stanu napełnienia winien od razu sterować pracą pochodni biogazu (również z możliwością zadawania nastaw z nadrzędnego systemu sterowania), wtedy nawet awaria czy prace w systemie AKPiA nie pozbawiają nas możliwości bezpiecznej eksploatacji układu biogazowego.

Ważnymi elementami wyposażenia są:

- System detekcji metanu w przestrzeni międzypłaszczyznowej.
- Ultradźwiękowy pomiar napełnienia (przy czym należy zwrócić uwagę na rozwiązania pomiaru – eliminujące wykraplanie wody na sondzie pomiarowej, co skutkuje błędami pomiaru).
- Bezpiecznik naciśnieniowy, cieczowy z wypełnieniem na bazie glikolu etylenowego (zastosowanie bezpiecznika mechanicznego grozi jego przymarzeniem – o czym pisano powyżej).
- Dwie dmuchawy sprężonego powietrza (jakże często układ wyposażony jest tylko w jeden wentylator): pracujące w systemie 1 czynna, 1 rezerwa, z automatycznym przełączaniem. Silniki dmuchaw muszą być dopuszczone do pracy w strefie zagrożonej wybuchem metanu.
- Przepustnica regulacyjna (upustowa) powietrza z przestrzeni międzypłaszczyznowej: nie powinno się dopuszczać upustu z przewodu doprowadzenia powietrza, gdyż wówczas zapewniona jest wymiana powietrza w przestrzeni międzypłaszczyznowej. Wpływa to na schłodzenie gazu, obniżenie (latem) temperatury powłok oraz eliminuje gromadzenie się gazu w tej przestrzeni.

Membrana zewnętrzna winna być wyposażona we wzornik o średnicy minimum DN 300 mm – wtedy nawet w razie awarii czy zaburzeń układu pomiarowego, obsługa ma świadomość stanu pracy zbiornika.

Wszelkie elementy stalowe muszą być wykonywane ze stali nierdzewnej kwasoodpornej. Bardzo często spotyka się zwykłą stal ocynkowaną, podczas gdy korozyjne oddziaływanie siarkowodoru jest o wiele szybsze niż ścieków.

Membrana wewnętrzna powinna być wykonana z tworzywa poliestrowego oraz PVC powlekanego obustronnie lakierem akrylowym - co zwiększa jej mechaniczną odporność na ścieranie oraz powoduje całkowitą szczelność. Materiał dla wykonania powłoki wewnętrznej (magazynowy) powinien różnić się od materiału zastosowanego dla membrany zewnętrznej, głównie z uwagi na działanie medium magazynowanego tj. biogazu. W związku z tym należy określić na etapie projektu szczegółowe warunki techniczne zbiornika biogazu, takie jak wytrzymałość mechaniczna, odporność środowiskowa, a w szczególności przepuszczalność biogazu, przy czym proponuje się, aby to nie było więcej niż $200 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \times \text{d} \times \text{bar}$.

Pochodnia biogazu.

Elementem zabezpieczającym zbiornik jest pochodnia do wypalania nadmiaru biogazu.

Wyróżnia się obecnie następujące typy pochodni oraz ich cechy:

1. Z płomieniem otwartym:

Temp. spalania < 850°C.

Płomień widoczny.

Brak możliwości sprawdzenia emisji.

Niższa efektywność w czasie wiatru.

2. Z płomieniem ukrytym:

Temp. spalania < 950 st. C.

Płomień ukryty.

Możliwość sprawdzenia emisji.

Możliwość detekcji temp. płomienia.

3. Z płomieniem zamkniętym:

Temp. spalania < 1250 st. C.

Płomień ukryty z kontrolą powietrza.

Możliwość sprawdzenia emisji.

Detekcja płomienia z regulacją dopływem powietrza.

Z uwagi na obserwowane obecnie w krajach UE zmiany dotyczące normowania jakości emisji spalin, zaleca się zastosowanie pochodni z płomieniem ukrytym. Pochodnie z płomieniem zamkniętym stosuje się głównie przy spalaniu biogazu pochodzącego ze składowisk odpadów – gaz ten zawiera wówczas wiele zanieczyszczeń, stąd dodatkowo biorąc pod uwagę wzrost kosztów, nie zaleca się tego typu pochodni.

Pochodnie z płomieniem otwartym nie mają możliwości kontroli emisji, a biorąc pod uwagę obecne systematyczne zmiany przepisów należy spodziewać się zaostrzenia kontroli oddziaływania na środowisko również tego typu emitorów.

Zatem zwykle stosuje się pochodnie nadmiarowej w wersji z ukrytym płomieniem, wyposażonej między innymi w: przerywacz płomienia, przepustnicę ręczną, przepustnicę elektryczną (sterowaną), detektor ciśnienia, układ zapalający, układ kontroli obecności płomienia, system sterujący – kontrolny (co najmniej następujące funkcje: zapalenie od sygnału z systemu AKPiA – przekroczenie progu napełnienia zbiornika biogazu + sygnał zdalny ręczny, zamknięcie po przekroczeniu drugiego progu oraz ręcznie zdalnie, odcięcie przy zbyt niskim ciśnieniu biogazu, alarm braku płomienia, automatyczne powtarzanie zapłonu, przekazanie stanów pracy do systemu AKPiA). Przy pochodni warto zbudować licznik biogazu, pozwalający na zliczanie ilości wypalonego gazu. Sygnał stanu awaryjnego przekazywany powinien być do systemu AKPiA oczyszczalni. Zapalenie palnika biogazu pochodni powinno następować zapalarką z zapłonem iskrowym, zasilaną z układu zapłonowego, po otwarciu zasowy doprowadzającej biogaz do palnika pochodni w sposób automatyczny, a wygaszanie palnika następować przez odcięcie dopływu biogazu. Zapalenie

pochodni w dowolnym stanie napełnienia zbiornika biogazu powinno następować także przez przycisk ręcznego uruchamiania otwierania zasuw i układu zapłonowego palnika pochodni. Wygaszanie pochodni powinno następować przez przycisk ręcznego zamknięcia zasuw. Stan pracy lub awarii sygnalizowany powinien być z układu sterowania i kontroli pracy pochodni do centralnej dyspozytorni.

Palnik pochodni powinien zapewniać spalanie biogazu w skrajnie trudnych warunkach, jakim jest silny wiatr dochodzący do 30 m/s. Zaleca się zastosowanie palnika inżektorowego. Obserwowany sposób pracy pochodni z takim palnikiem jest zupełnie inny, niż dla standardowych pochodni. Proces spalania biogazu powinien być zabezpieczony przed zjawiskiem przeniesienia płomienia do instalacji biogazu płytowym przerywaczem płomienia umiejscowionym pod kołnierzem przyłączenia palnika. Zawór z napędem elektrycznym powinien być dopuszczony do pracy w instalacji gazowej, a silnik napędu winien posiadać atest dopuszczenia w strefie zagrożonej wybuchem. Przyłączenie elektryczne napędu powinno być podgrzewane i przystosowane do pracy w każdych warunkach atmosferycznych.

Jak zatem widać z przytoczonych przykładów, kluczową rolę gra standard projektu i zawarte w nim wymogi oraz warunki dla Wykonawcy. Jeżeli w projekcie nie ma odpowiednich zapisów, standard wyposażenia będzie minimalny, a czasochłonność i trudność eksploatacji wysoka. Nie można liczyć na to, że w okresie rozruchu zostaną wykazane wszystkie problemy i modernizowana oczyszczalnia zostanie dzięki temu wyposażona i zmodyfikowana do odpowiedniego standardu. Okres rozruchu z zasady jest krótki i wiele rzeczy można w tym czasie zatuszować, a warunek otrzymania dofinansowania i zamknięcia kontraktu w terminie, powoduje, że zwykle jedynie użytkownik jest zainteresowany poprawkami, natomiast służby finansowe i realizujące programy unijne chcą jak najszybciej zadanie zakończyć. Niemniej jednak świadome specyfikowanie wymagań oraz zapewnienie dobrego zespołu rozruchowego i nadzorującego pozwala na uzyskanie wielu zmian i dynamiczne wprowadzanie modyfikacji. Warty zastosowania rozwiązaniem jest narzucanie kierownictwa rozruchu ze strony wodociągów, co pozwala na skuteczną weryfikację jakości wykonanych inwestycji (dobry rozruchowiec potrafi ukryć szereg mankamentów, więc jeżeli będzie on na etapie wykonawcy, ewentualne błędy nie zostaną w porę skorygowane).