



DZIEŃ MECHANIKA 2026



Konkurs na Najlepszą Pracę Dyplomową na Wydziale Mechanicznym UMG

Streszczenia prac konkursowych

**Projekt zarządzania bezpieczeństwem technicznym eksploatacji instalacji biogazowej
w węźle gospodarki osadowej na podstawie Oczyszczalni Ścieków „Dębogórze”
PEWIK Gdynia Sp. z o.o.**

Uzasadnienie podjęcia tematu i cel pracy

Gospodarka wodno – ściekowa stanowi istotny element infrastruktury komunalnej, mający bezpośredni wpływ na stan środowiska naturalnego oraz bezpieczeństwo funkcjonowania aglomeracji miejskich. Jednym z kluczowych kierunków rozwoju nowoczesnych oczyszczalni ścieków jest zwiększanie efektywności energetycznej poprzez wykorzystanie biogazu powstającego w procesie fermentacji beztlenowej osadów ściekowych. Jednocześnie eksploatacja instalacji biogazowych wiąże się z występowaniem zagrożeń, które mogą wpływać na bezpieczeństwo pracowników, niezawodność infrastruktury oraz ciągłość procesów technologicznych.

Celem pracy było opracowanie wstępnego projektu zarządzania bezpieczeństwem technicznym eksploatacji instalacji biogazowej funkcjonującej w węźle gospodarki osadowej Grupowej Oczyszczalni Ścieków „Dębogórze” PEWIK Gdynia Sp. z o.o.

Przyjęto założenie, że systemowe podejście obejmujące identyfikację zagrożeń, analizę i ocenę ryzyka oraz dobór działań zapobiegawczych i kontrolnych może stanowić podstawę ograniczania zdarzeń niepożądanych i poprawy niezawodności instalacji. Istotną wartością opracowania jest odniesienie rozważań teoretycznych do rzeczywistego obiektu technicznego, z wykorzystaniem dokumentacji technicznej, materiałów eksploatacyjnych oraz literatury naukowej i branżowej.

Charakterystyka analizowanego obiektu

Grupowa Oczyszczalnia Ścieków „Dębogórze” stanowi strategiczny obiekt infrastruktury komunalnej aglomeracji gdyńskiej, obsługujący około 360000 mieszkańców, przy obciążeniu technologicznym szacowanym na 548000 RLM. Analizowana instalacja jest częścią zintegrowanego układu technologicznego obejmującego gospodarkę ściekową, osadową oraz ciepłno-gazową. W wyniku modernizacji zakończonej w 2023 roku rozbudowano węzeł fermentacji i uzdatniania biogazu oraz układy odzysku energii.

Proces stabilizacji osadów przebiega w trzech zamkniętych komorach fermentacyjnych o łącznej pojemności 19200 m³, w temperaturze 36 ÷ 38 °C i przy czasie zatrzymania osadu wynoszącym 26 ÷ 32 dni. Wytworzony biogaz podlega oczyszczaniu, magazynowaniu

i kondycjonowaniu, a następnie jest wykorzystywany energetycznie w agregatach kogeneracyjnych. Zbiornik biogazu o pojemności 3600 m³ umożliwia wyrównywanie wahań produkcji, natomiast trzy agregaty o mocy elektrycznej 600 kW każdy zapewniają w typowych warunkach pokrycie około 75 ÷ 80% zapotrzebowania oczyszczalni na energię elektryczną. Właściwe funkcjonowanie tego systemu wymaga zachowania stabilnych parametrów procesowych, odpowiedniej jakości biogazu oraz skutecznego nadzoru nad stanem technicznym urządzeń.

Zakres i metodyka przeprowadzonych analiz

W pierwszym etapie dokonano charakterystyki procesów technologicznych oraz dekompozycji instalacji biogazowej na podsystemy i urządzenia. Analizą objęto komory fermentacyjne, odsiarczalnię, zbiornik biogazu z węzłem tłocznym, instalacje osuszania i podgrzewania biogazu, pochodnię, filtry węglowe oraz agregat kogeneracyjny. Dekompozycja pozwoliła określić funkcje poszczególnych elementów, ich wzajemne powiązania oraz miejsca potencjalnego powstawania niezgodności eksploatacyjnych.

Następnie zidentyfikowano zagrożenia w czterech obszarach: technicznym, środowiskowym, eksploatacyjnym oraz związanym z czynnikiem ludzkim. Dokonano przeglądu metod PHA, HAZOP, FTA i FMEA. Do właściwej oceny ryzyka wybrano metodę FMEA, umożliwiającą usystematyzowaną analizę potencjalnych błędów, ich przyczyn i skutków oraz hierarchizację zagrożeń. Dla każdego przypadku oceniano znaczenie skutków awarii *S*, prawdopodobieństwa występowania *O* i trudności wykrycia awarii *D*, wyznaczając wskaźnik priorytetu ryzyka *RPN* jako iloczyn $S \cdot O \cdot D$. W opracowaniu przyjęto wartość *RPN* powyżej 100 jako przekroczenie poziomu akceptowalnego, wymagające podjęcia działań ograniczających ryzyko.

Najważniejsze wyniki analizy ryzyka

Przeprowadzona analiza FMEA wykazała znaczne zróżnicowanie poziomu ryzyka pomiędzy poszczególnymi podsystemami i grupami zagrożeń. Obszary o podwyższonym ryzyku dotyczą przede wszystkim magazynowania i przesyłu biogazu, urządzeń pracujących pod ciśnieniem i w podwyższonej temperaturze, układów automatyki oraz czynności wymagających bezpośredniej ingerencji operatorów. Szczególnego znaczenia nabierają nieszczelności instalacji i niekontrolowane uwolnienie biogazu, ze względu na możliwość powstania atmosfery wybuchowej, pożaru oraz skutków dla życia i zdrowia pracowników i środowiska.

Istotnym rezultatem pracy było wykazanie znaczącego udziału czynnika ludzkiego w strukturze ryzyka. W tej kategorii najwyższą wartość $RPN = 441$ przypisano nieuprawnionej ingerencji w nastawy systemów automatyki. Wysokie poziomy ryzyka odnotowano również dla stosowania nieodpowiednich lub uszkodzonych środków ochrony indywidualnej ($RPN = 378$) oraz błędnej interpretacji wskazań aparatury kontrolno – pomiarowej ($RPN = 240$). Zidentyfikowano ponadto zagrożenia związane z nieskoordynowaną zmianą parametrów pracy przez pracowników, błędami podczas uruchamiania i zatrzymywania urządzeń oraz niewłaściwym przygotowaniem prac konserwacyjnych. Wykazano, że działania oparte wyłącznie na szkoleniach i procedurach nie zawsze pozwalają obniżyć ryzyko do założonego poziomu akceptowalności.

Wyniki wskazują, że o wysokiej wartości wskaźnika RPN decyduje nie tylko częstość występowania zdarzenia, lecz także dotkliwość jego potencjalnych skutków i ograniczona możliwość wczesnego wykrycia. Uzasadnia to konieczność równoczesnego doskonalenia zabezpieczeń technicznych, systemów diagnostycznych i organizacji pracy. Analiza umożliwiła wskazanie priorytetów działań prewencyjnych, zamiast jednakowego traktowania wszystkich rozpoznanych zagrożeń.

Opracowany projekt zarządzania bezpieczeństwem technicznym

Na podstawie wyników analizy FMEA opracowano projekt wielopoziomowego systemu kontroli i zarządzania ryzykiem. Pierwszy poziom stanowi kontrola techniczna obejmująca systematyczne przeglądy, konserwację, diagnostykę oraz ocenę stanu zbiorników, rurociągów, armatury i urządzeń zabezpieczających.

Drugi poziom obejmuje monitoring procesowy z wykorzystaniem automatyki i systemów sterowania, w szczególności bieżący nadzór nad ciśnieniem, temperaturą, poziomem napełnienia zbiorników oraz składem biogazu. Istotne znaczenie przypisano systemom detekcji gazu, zabezpieczeniom przeciwwybuchowym i możliwości automatycznego odcięcia dopływu biogazu.

Trzeci poziom stanowi nadzór organizacyjny obejmujący standaryzację instrukcji i procedur eksploatacyjnych, określenie odpowiedzialności personelu, szkolenia oraz kontrolę przestrzegania wymagań bezpieczeństwa. Zaproponowano również prowadzenie rejestrów awarii, incydentów i zdarzeń potencjalnie niebezpiecznych, okresową aktualizację analizy FMEA oraz weryfikację skuteczności środków zapobiegawczych. Dla rozpoznanych zagrożeń wskazano strategie redukcji, unikania, transferu i akceptacji ryzyka, uzależnione od jego poziomu i charakteru.

Wnioski i znaczenie praktyczne pracy

Realizacja przyjętego celu pozwoliła opracować spójną koncepcję zarządzania bezpieczeństwem technicznym instalacji biogazowej, łączącą charakterystykę rzeczywistego systemu, jego dekompozycję, identyfikację zagrożeń i ocenę ryzyka metodą FMEA z propozycją działań technicznych oraz organizacyjnych. Szczególnie ważnym rezultatem jest wskazanie obszarów wymagających priorytetowego nadzoru, w tym zagrożeń wynikających z eksploatacji układów gazowych i nieprawidłowości w działaniu personelu oraz systemów sterowania.

Praca ma charakter aplikacyjny. Przedstawiony projekt może służyć jako podstawa dalszego doskonalenia procedur, planów inspekcji i monitoringu oraz podejmowania decyzji o modernizacjach instalacji. Zaproponowane rozwiązania wymagają wdrożenia i dalszej weryfikacji w praktyce eksploatacyjnej, jednak ich opracowanie na podstawie rzeczywistego obiektu zwiększa użyteczność przedstawionej koncepcji. Zastosowana metodyka może również stanowić punkt odniesienia dla innych instalacji nie tylko biogazowych funkcjonujących w obiektach infrastruktury komunalnej, w których bezpieczeństwo techniczne pozostaje warunkiem niezawodnej pracy oraz prawidłowego funkcjonowania zakładu.