

**POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ
DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING**

8(4)/2016, 21-33

Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

Aleksandra BRZEZIŃSKA, Bogdan ŻÓŁTOWSKI

BADANIE SŁABYCH OGNIW OBIEKTU ZŁOŻONEGO

Streszczenie: W pracy omówiono wybrane problemy dotyczące wyszukiwania tzw. słabych ogniw w maszynach krytycznych (złożonych). Przeanalizowano stosowane metody lokalizowania elementów szczególnie podatnych na uszkodzenia. Analizę badania słabych ogniw w obiekcie złożonym dokonano na podstawie wyszukiwania wadliwych części i zespołów w elektrofiltrze, które prowadziły do awarii maszyny. Wyjaśniono zasady diagnozowania parametrów technologicznych pracy urządzenia w oparciu o stosowaną metodę kontroli stanu maszyny – według normy PN-Z-04030-7:1994, na podstawie której realizowane są późniejsze czynności naprawcze obiektu badań.

Słowa kluczowe: słabe ogniwo, obiekt złożony, niezawodność, elektrofiltr.

1. WSTĘP

Nowoczesne przedsiębiorstwa doskonale rozpoznały wiele narzędzi (innowacyjny produkt, cykl życia produktu, biznes plan, benchmarking, nowoczesne technologie, transformacja wiedzy i technologii) kształtujących podstawy racjonalnej gospodarki. To określenia współczesnego etapu rozwoju gospodarki, gdzie wiedza rozumiana jako zdolność do działania, odgrywa decydującą rolę w stymulowaniu rozwoju gospodarczego i społecznego [1]. Wobec gwałtownego rozwoju informatyki, mikroelektroniki i in. nauka została uwikłana w rozwój gospodarczy do tego stopnia, że polityka naukowa zaczęła przekształcać się w politykę naukowo-techniczną i innowacyjną, a jednocześnie znacznie wzrosła rola instytucji pośredniczących pomiędzy nauką a gospodarką. Priorytetem staje się edukacja, aby nowa wiedza mogła rozpowszechniać się w społeczeństwach i stać się podstawą rozwoju społeczeństwa wiedzy i gospodarki wiedzy [4, 10].

W dzisiejszym świecie złożonych systemów technicznych coraz większego znaczenia nabiera utrzymanie ich zdolności zadaniowej w zorganizowanych strategiach eksploatacji. Znanych jest coraz więcej przypadków wymagających wysokiej niezawodności oraz pewności funkcjonowania, szczególnie maszyn krytycznych, a często pojedynczych. Projektowanie eksploatacji takich maszyn, wykorzystujące dokonania teorii modelowania (szczególnie holistycznego), dynamiki, diagnostyki technicznej, niezawodności, ryzyka bezpieczeństwa, prowadzą wprost do unikania uszkodzeń i efektywnej eksploatacji [10].

mgr inż. Aleksandra BRZEZIŃSKA, e-mail: aleksandra.brzezinska91@gmail.com
prof. dr hab. inż. Bogdan ŻÓŁTOWSKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: bogzol@utp.edu.pl

Badania niezawodności maszyn przekonują, że tańsze jest tolerowanie rozpoznanych uszkodzeń, niż zapobieganie im. Niemożliwe jest uzyskanie stuprocentowej niezawodności w każdej z dziedzin nauki i techniki tak, że tolerowanie rozwijających się uszkodzeń staje się koniecznością przy dostarczaniu usług wysokiej jakości. Nowoczesne rozwiązania technologiczne i bogate doświadczenia obszaru eksploatacji maszyn dają nową jakość umożliwiającą stosowanie nadmiarowych, zarządzanych i w pełni przewidywalnych rozwiązań dla możliwych uszkodzeń.

Gospodarka oparta na wiedzy, uwzględniająca najnowsze osiągnięcia (wytwarzanie, gromadzenie, przekształcanie), transformowana do przemysłu, staje podstawą nowoczesnych technik i technologii w budowie i eksploatacji systemów technicznych. Transfer technologii omówiony wieloaspektowo – od firm technologicznych, aż po komercjalizację technologii dają przesłanki kreatywnych działań w przemyśle. Usystematyzowanie zagadnień procesów transformacji wiedzy i technologii w technice oraz wskazanie powiązań pomiędzy poszczególnymi jednostkami biorącymi w tym udział wskazują na zakres niezbędnych działań współczesnego przedsiębiorstwa [5, 9, 10].

Podczas eksploatacji obiektów technicznych należy ciągle monitorować parametry użytkowe maszyn, w celu kontrolowania bieżącego stanu technicznego. Każde wystąpienie uszkodzenia czy też awarii wiąże się z poniesieniem wysokich kosztów związanych z naprawą obiektu, dotyczy to zwłaszcza urządzeń specjalnych w przemyśle energetycznym. Ważne jest, zatem zastosowanie odpowiednich metod wyszukiwania słabych ogniw, występujących w każdym urządzeniu.

Wszystkie zawarte zagadnienia miały doprowadzić do sformułowania poprawnej odpowiedzi na cel badawczy pracy, który określono w następujący sposób: „Jakie są metody przeprowadzania czynności kontrolnych, umożliwiających określenie zdatności urządzenia specjalnego, znajdującego się w bloku energetycznym?”. Zatem w pracy zaprezentowano techniki stosowane podczas lokalizowania krytycznych elementów w obiektach, które wpływają na niezawodność maszyny. Badanie słabych ogniw w obiekcie krytycznym (złożonym) ukazano na podstawie analizy i badania sposobów wyszukiwania najbardziej zawodnych części i zespołów w elektrofiltrze.

2. OBIEKT ZŁOŻONY

Wiele definicji i określeń z obszaru teorii eksploatacji i tematyki tego opracowania zaczerpnięto z inżynierii niezawodności [7]. Pierwszym terminem, który warto przywołać dla rozważań tej pracy jest „niezawodność obiektu” definiowana jako: „zdolność maszyny do spełnienia stawianych wymagań. Wielkością charakteryzującą zdolność do spełnienia wymagań może być prawdopodobieństwo spełnienia wymagań” [5]. Formułując własnymi słowami powyższa definicja określa niezbędne wymagania oraz parametry wraz z wartościami progowymi, które opisują zdatność obiektu. Na zdatność maszyny ma wpływ także szereg czynników zewnętrznych czy też związanych z oddziaływaniem człowieka na użytkowany obiekt i ryzyko pojawienia się niekorzystnych zdarzeń (awarie, uszkodzenia) w czasie eksploatacji.

Wystąpienie uszkodzenia powoduje, że obiekt staje się niezdatny. Pojęcie rozumiane może być jako „stan maszyny, w którym nie spełnia ona chociażby jednego z wymagań określonych w dokumentacji technicznej” [9]. Wyróżniany jest również tzw. stan ograniczonej zdatności, gdzie: „pomimo tego, że pewne cechy maszyny przestały spełniać kryteria to maszyna (system techniczny, jako obiekt wielozadaniowy może realizować niektóre zadania” [12]. W Dyrektywie Maszynowej 2006/42/WE określono maszynę jako „zespół wyposażony lub przeznaczony do wyposażenia w mechanizm napędowy inny niż bezpośrednio wykorzystujący siłę mięśni ludzkich lub zwierzęcych, składający się ze sprzężonych części lub elementów, z których przynajmniej jedna wykonuje ruch, połączonych w całość mającą konkretne zastosowanie” [3].

Podstawowym terminem, który pozwoli na późniejsze prawidłowe sformułowanie definicji maszyny złożonej są obiekty proste, „realizujące jedną funkcję na argumentach wejściowych. Zwykle uszkodzenie dowolnego elementu uniemożliwia poprawną pracę całego obiektu prostego” [7]. Miara niezawodności obiektu prostego opisywana jest funkcją czasu oraz pracy systemu, przy niezależności zmiennych losowych, zapisywaną jako relacja [7]:

$$R(t, W) = R_D(W) \cdot R_N(t, W) \cdot R_K(t, W) \cdot R_A(t, W) \quad (1)$$

gdzie: $R_D(W)$ – niezawodność konstrukcyjna zależna od punktu pracy systemu (W),

$R_N(t, W)$ – niezawodność parametryczna, która zależy od czasu (t) i punktu pracy systemu (W),

$R_K(t, W)$ – niezawodność katastroficzna zależna od czasu (t) i punktu pracy systemu (W), wynikająca z występowania w czasie (t) skokowych zmian właściwości fizycznych elementów obiektu doprowadzających do uszkodzenia maszyny,

$R_A(t, W)$ – niezawodność eksploatacji oraz obsługi, która również zależy od czasu (t) i punktu pracy systemu (W).

Na podstawie tych określeń możliwe jest prawidłowe sformułowanie terminu maszyny złożonej, która składa się z wielu wzajemnie powiązanych obiektów prostych. Zatem uszkodzenie jednego bądź kilku elementów składowych maszyny nie musi wiązać się z całkowitym wyłączeniem obiektu z eksploatacji, jednak każde niepożądane zdarzenie związane z wystąpieniem awarii, uszkodzeń w określony sposób zmniejsza efektywność zastosowania urządzenia. Maszyny złożone mogą być obiektami odnawialnymi tylko w przypadku, jeżeli zaistniałe uszkodzenia elementów w obiekcie są naprawialne, a wykonywane czynności prowadzą do przywrócenia zdatności urządzenia. Naprawa słabych ogniw maszyny realizowana przez wykwalifikowany zespół z reguły nie powinna zakłócać wykonywania kluczowych zadań w przedsiębiorstwie związanych z dostarczaniem dochodów. Maszyny złożone w zależności od rangi wykonywanych zadań mogą zostać podzielone na trzy istotne klasy [7]:

- obiekty, które nie mogą być naprawiane w czasie realizacji zadania,
- obiekty, które powinny być gotowe do pracy w dowolnej chwili czasu i pracować poprawnie w określonym przedziale czasu,
- obiekty, od których wymaga się sprawnego działania w długim okresie.

Analizowany obiekt badań przedstawionych w tej pracy, to obiekt krytyczny (złożony) należący do trzeciej kategorii urządzeń przedstawionej klasyfikacji. Miarę niezawodności określającą obiekt znajdujący się w trzeciej klasie oszacować można współczynnikiem gotowości [7]:

$$R_3 = K_g \quad (2)$$

gdzie: R_3 – oznacza niezawodność obiektów technicznych należących do trzeciej klasy według podziału na zastosowanie maszyn,

K_g – wskaźnik gotowości obiektu technicznego wyrażony prawdopodobieństwem K_g , że obiekt lub jego elementy będą w stanie zdatności w chwili czasu (t) od początku eksploatacji.

Obiekt badań należy go grupy maszyn krytycznych, czyli do grupy urządzeń, które nie mają rezerwowania, a poniesiony koszt inwestycyjny na ich zakup jest stosunkowo wysoki. Ponadto eksploatacja maszyn krytycznych wpływa w znaczący sposób na uzyskanie odpowiedniego progu wyniku ekonomicznego dla danego przedsiębiorstwa.

Bardzo ważny jest fakt, iż niezawodność obiektów krytycznych zostaje wymuszona przez utrzymanie ciągłości procesu produkcyjnego. Diagnozowanie tego typu maszyn należy przeprowadzać, w celu zachowania pełnej sprawności obiektu i niedopuszczenia do występowania częstych awarii, prowadzących do wyłączenia urządzenia z procesu produkcyjnego. Należy ciągle monitorować stan techniczny maszyn krytycznych, aby zlokalizować słabe ogniwa.

Przy zastosowaniu odpowiednich metod oraz technik diagnostycznych możliwe jest prawidłowe zaplanowanie czynności naprawczych urządzenia. W dalszej części pracy zostaną omówione słabe ogniwa występujące w obiekcie złożonym, sposoby diagnozowania parametrów technologicznych obiektu badań oraz stosowane metody naprawcze maszyny analizowanej w pracy.

3. OBIEKT ZŁOŻONY

Konstruktorzy i inżynierowie tworząc nowe mechanizmy, dążą do wykonania płynnie współpracujących ze sobą elementów. Jednak wraz z efektywnym eksploataowaniem obiektu oraz związanym z użytkowaniem obiektów procesem starzenia wzrasta możliwość wystąpienia uszkodzenia. Dzieje się to ze względu na fakt, iż w urządzeniach mogą znaleźć się tzw. słabe ogniwa, które nie zostały wykryte na wcześniejszych etapach tworzenia obiektu i mogą stanowić przyczynę do powstawania późniejszych uszkodzeń czy też awarii poszczególnych elementów maszyny złożonej prowadzące nawet do zniszczenia maszyny.

Pojawienie się w obiekcie chociażby jednego uszkodzonego elementu może doprowadzić do stopniowego „pogarszania się własności pozostałych ogniw, przez co proces ten prowadzi do tworzenia się lawiny uszkodzeń” [2]. Zatem ważne jest przeprowadzanie badania niezawodnościowego już na etapie projektowania oraz na wykonanym prototypie urządzenia, aby umożliwić wykrycie wadliwych elementów wpływających na późniejszą realizację zadań przez obiekt.

Zlokalizowanie słabych ogniw w maszynach złożonych bywa kłopotliwym oraz długotrwałym procesem, dlatego tak ważne jest diagnozowanie stanu niezawodnościowego obiektu, w celu ustalenia najbardziej zawodnych elementów, części bądź zespołu wchodzących w skład maszyny złożonej przyczyniających się do możliwego pogorszenia się funkcjonowania urządzenia w czasie fazy eksploatacji obiektu.

3.1. Sposoby wyznaczania słabych ogniw w obiektach złożonych

W celu wykrycia elementów zawodnych w maszynie, które mogą negatywnie wpływać na sprawność urządzenia, wykonywane są badania niezawodności obiektów technicznych. Problematyka realizowanych czynności w dążeniu do sformułowania prawidłowej oceny określającej niezawodność maszyny dotyczy zarówno wykonania badania teoretycznego oraz eksperymentalnego. Badania teoretyczne opierają się na matematycznym modelowaniu zmian zdolności urządzenia zachodzących w określonym czasie, weryfikacji i scharakteryzowaniu rozwoju negatywnych czynników prowadzących do uszkodzeń oraz wielu innych zadań. Badania eksperymentalne dotyczą przeprowadzenia obserwacji przebiegu etapu eksploatacji oraz wchodzącego w tę fazę procesu użytkowania, przechowywania wszelkich informacji na temat wystąpienia uszkodzeń, przetwarzania danych statystycznych itp.

Prawidłowe przeprowadzenie badań niezawodnościowych obiektu technicznego zależy od sporządzenia oceny niezawodności całego urządzenia oraz poszczególnych części wchodzących w skład maszyny złożonej, wyszukania problematycznych stref wywołujących potencjalny rozwój uszkodzenia i doboru właściwych metod rozwiązujących kłopotliwe sytuacje. Celem badań jest również wykrycie tzw. słabych ogniw, czyli elementów wpływających na aktualny stan techniczny urządzenia, podatnych na przyspieszone zniszczenie przez oddziaływanie czynników roboczych, zewnętrznych oraz związanych z oddziaływaniem człowieka na maszynę.

Skupiając się na przeanalizowaniu sposobów zlokalizowania krytycznych elementów w obiekcie złożonym, typowanie słabych ogniw może być realizowane za pomocą wyznaczenia określonych kryteriów. Bardzo ważnym aspektem do przeanalizowania podczas przystępowania do określenia właściwych wskaźników słabych ogniw jest dobranie wartości progowych, które za pomocą narzędzi komputerowych umożliwią wytypowanie elementów krytycznych w urządzeniu. Podczas wyboru słabych ogniw można posłużyć się poniższymi kryteriami [7]:

- najmniejszą oceną średniego czasu zdolności między uszkodzeniami danego elementu (lub do pierwszego uszkodzenia elementu),
- najmniejszymi średnimi ilościami pracy między uszkodzeniami danego elementu (lub do pierwszego uszkodzenia elementu),
- największymi wartościami liczb uszkodzeń elementu w próbie maszyn,
- powtarzalnością uszkodzeń w próbie obserwowalnych maszyn,

- najdłuższym średnim czasie odnowy po uszkodzeniu danego elementu,
- najdłuższym łącznym czasie odnowy po uszkodzeniach danego elementu.

Powinno się przyjąć zasadę, że jeżeli dla konkretnej części lub zespołu spełnione zostało chociażby jedno z powyższych kryteriów, to następuje wyznaczenie pozostałych przyjętych mierników wyboru słabych ogniw. Dla wszystkich składowych maszyny złożonej otrzymane wartości przyporządkowane są rosnąco bądź malejąco, dzięki temu możliwe jest późniejsze nadanie im rang w układzie sekwencyjnym i tworzenie listy słabych ogniw znajdujących się w urządzeniu.

Do wyznaczania krytycznych elementów (słabych ogniw) w maszynie można zastosować pracochłonne i długotrwałe badania niezawodnościowe obiektów technicznych, podczas których określane są kryteria wyboru słabych ogniw. W tym przypadku można posłużyć się wyznaczeniem średniego czasu poprawnego wykonywania pracy przez urządzenie pomiędzy dwoma uszkodzeniami, czyli zastosować wskaźnik MTBF (Mean Time Between Failure) obliczany za pomocą wzoru [6]:

$$T_s = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n t_{ni} \quad (3)$$

gdzie: T_s – zmienna losowa określająca czas funkcjonowania (użytkowania) obiektu pomiędzy uszkodzeniami,

k – liczba obiektów badań, przy czym każdy jest po (n-1)-tej naprawie,

t_{ni} – czas zdatności i-tego obiektu od momentu zakończenia (n-1)-tej naprawy do chwili następnego k-tego uszkodzenia.

Przy doborze kryteriów wyznaczających słabe ogniwa skorzystać można również ze wskaźnika średniego czasu naprawy, czyli MTTR (Mean Time To Repair), który ma za zadanie określić wartość oczekiwaną G_s do usunięcia uszkodzenia. Wartość wskaźnika MTTR określana jest następująco [6]:

$$G_s = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n g_{ni} \quad (4)$$

gdzie: G_s – to zmienna losowa określająca oczekiwany czas wykonania naprawy zaistniałych uszkodzeń,

k – liczba obiektów badań, przy czym każdy jest po (n-1)-szym czasie zdatności,

g_{ni} – czas przeprowadzenia odnowy i-tego obiektu.

Wykonana naprawa maszyny powinna przywrócić cechom funkcjonalnym urządzenia własności początkowe bądź zbliżone do pierwotnych. Opisane powyżej wskaźniki stosuje się w badaniach niezawodnościowych obiektów technicznych, ponieważ umożliwiają prawidłowe zaplanowanie terminów diagnozowania maszyn i ustalenie czasu naprawy zaistniałych uszkodzeń. Podczas zlokalizowania słabych ogniw w urządzeniu przydatne może okazać się wykonanie poniższych czynności:

- weryfikacja dokumentacji techniczno-ruchowej maszyny złożonej, w celu znalezienia elementów podatnych na przyspieszone uszkodzenie,
- przestudiowanie prowadzonej statystyki uszkodzeń obiektu,
- dokonanie analizy opinii od pracowników obsługujących daną maszynę.

Wykorzystując jakąkolwiek metodę podczas wyszukiwania słabych ogniw w urządzeniu niezbędne jest posiadanie odpowiedniej wiedzy o obiekcie badań, obejmującej tematykę związaną z projektowaniem, konstruowaniem, wytwarzaniem i prawidłowym eksploataowaniem maszyny. Odczytywanie we właściwy sposób sygnałów oraz symptomów wysyłanych przez obiekt, umożliwia szybkie zareagowanie na zmieniający się stan techniczny urządzenia i dobór odpowiednich metod naprawczych. Ważne jest korzystanie z różnych sposobów podczas wyszukiwania problematycznych części, zespołów maszyny złożonej, aby zlokalizować największą liczbę słabych ogniw występujących w obiekcie badań.

Realizacja eksploatacji maszyn złożonych (obiektów krytycznych) winna zasadzać się na nadzorowaniu zmian stanów zdadności głównie **słabych ogniw**, co w praktyce realizuje się poprzez okresowe badania ich stanów zdadności metodami diagnostyki technicznej.

3.2. Metodyka wyróżniania słabych ogniw w bloku energetycznym

Podczas spalania paliw kopalnianych oprócz generowania energii, produkowane są substancje szkodliwe dla środowiska naturalnego oraz człowieka. Związki chemiczne wytwarzane w trakcie procesu spalania to: dwutlenki siarki, tlenki azotu, tlenek węgla oraz dwutlenek węgla.

Bloki energetyczne, w których spalane są paliwa stałe (dotyczy węgla kamiennego, brunatnego) muszą posiadać tzw. kompleksowy system oczyszczania spalin, składający się z urządzeń do odazotowania, odpylania oraz odsiarczania gazów odlotowych. W sterowni głównej bloku energetycznego znajduje się centrum monitorowania parametrów pracy poszczególnych urządzeń, wchodzących w skład systemu oczyszczania spalin. Centrum sterowania umożliwia szybkie reagowanie w przypadku wystąpienia awarii.

Ważny jest ciągły nadzór procesu spalania, prowadzenie ewidencji najczęstszych uszkodzeń oraz przeprowadzonych napraw w poszczególnych urządzeniach, w celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia awarii w bloku energetycznym, niosącej niebezpieczeństwo przedostania się szkodliwych związków chemicznych do powietrza.

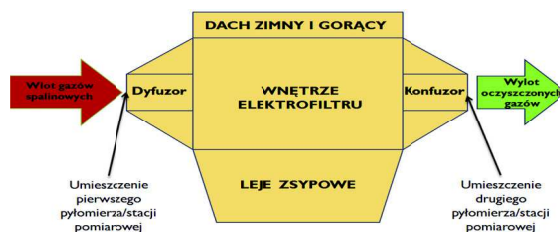
W świetle przepisów z zakresu ochrony środowiska funkcjonowanie elektrofiltru w przemyśle energetycznym stanowi kluczową rolę. Kroki podejmowane w celu uzyskiwania najniższego poziomu emisji szkodliwych związków chemicznych (tlenków siarki, tlenków azotu, pyłu) zostały zawarte w prawie ochrony środowiska [11] oraz obowiązujących standardów emisyjnych [8]. Prawidłowe funkcjonowanie elektrofiltru wpływa na sprawność działania całego bloku energetycznego składającego się z kotła, urządzeń odsiarczających, maszyn do odazotowania i odpylających drobin pyłu, komina oraz kanałów transportowych gazy odlotowe.

Wysokie koszty inwestycyjne poniesione przez przedsiębiorstwa energetyczne na zakup maszyn specjalnych, skomplikowana budowa urządzenia odpylającego oraz ranga w ochronie środowiska przed niebezpiecznymi związkami chemicznymi, pochodzącymi z procesu spalania, kwalifikuje **elektrofiltr jako obiekt krytyczny i słabe ogniwo** całego badanego systemu technicznego. Z tych trzech ważnych powodów wynika potrzeba ciągłego monitorowania parametrów technicznych i technologicznych obiektu i dokonywania ich analizy.

4. BADANIE PARAMETRÓW PROCESU TECHNOLOGICZNEGO OCZYSZCZANIA GAZÓW ODLOTOWYCH

Metoda grawimetryczna stosowana jest najczęściej w przemyśle energetycznym do kontroli stanu technicznego urządzeń specjalnych i przeprowadzania pomiarów skuteczności działania maszyn odpylających. Badanie parametrów procesu technologicznego obiektu krytycznego, jakim jest elektrofiltr kotła OO 320 w PKN ORLEN polegało na dokonywaniu czynności kontrolnych pyłu spalinowego zgodnie z normą PN-Z-04030-7:1994 „Badanie zawartości pyłu. Pomiar stężenia i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych metodą grawimetryczną” [1]. Zgodnie z wymaganiami normy dobiera się liczbę mierzonych punktów dla każdego przekroju, a zebrane wyniki końcowe stanowią wartość średnią dla całego badanego przekroju pomiarowego.

Wartość stężenia zapylenia spalin w kanale transportującym zanieczyszczony gaz do elektrofiltru mierzony jest za pomocą urządzeń grawimetrycznych. Wykonywany zostaje pomiar temperatury gazów odlotowych na wlocie elektrofiltru oraz w kanale wylotowym oczyszczonych spalin. Ponadto dokonuje się sprawdzenia wartości stężenia poszczególnych związków chemicznych znajdujących się z gazach odlotowych, które umożliwiają późniejsze obliczenie wartości skuteczności procesu odpylenia spalin ze szkodliwych związków chemicznych. Schemat rozmieszczenia pyłomierzy grawimetrycznych stosowanych podczas kontroli obiektu badań przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Rozmieszczenie pyłomierzy grawimetrycznych podczas wykonywania badania zapylenia spalin na wlocie i wylocie elektrofiltru zgodnie z normą PN-Z-04030-7:1994

Fig. 1. Arrangement gravimetric dust monitors during the dust exhaust test at the inlet and outlet of the electrostatic precipitator according to PN-Z-04030-7: 1994

4.1. Obiekt badań

Analizowanym urządzeniem w pracy jest elektrofiltr kotła OO 320 znajdujący się w PKN ORLEN w Płocku. Wykonany został w 2013 roku przez firmę budowlano-monterską TECH-MONT Engineering specjalizującej się w realizowaniu przedsięwzięć z zakresu chemii, energetyki oraz petrochemii.

Pojęciem urządzenia odpylającego zostało wyjaśnione już kilka lat temu jako: „cały zespół urządzeń koniecznych do wydzielenia pyłu z zapyłonego gazu” [4]. Wyjaśniając termin **elektrofiltr** to maszyna odpylająca, której zasada działania opiera się na oddziaływaniu pola elektrostatycznego na cząsteczki spalin.

Oznaczenie OO 320 w nazwie obiektu oznacza, że urządzenie jest opalane ciężkim olejem opałowym w skład, którego wchodzi gudron, czyli gęsta ciecz powstała w wyniku próżniowej destylacji ropy naftowej. Numer 320 w nazwie elektrofiltru określa wydajność kotła oznaczającą ilość ton generowanej pary na godzinę. W skład maszyny wchodzi odpylacz oraz urządzenia pomocnicze, których wspólne działanie sprawia, że następuje rozdzielenie drobin pyłu z gazu spalinowego. Obiekt badań składa się z bardzo wielu elementów, a budowę urządzenia można podzielić na pięć charakterystycznych grup:

- budowlana: składa się z fundamentów, obudowy lejów zsypanych, konstrukcji wsporczej z podporami przegubowymi oraz komora,
- mechaniczna: łożyska (stałe, kierunkowe i swobodne), system elektrod zbiorczych i ulotowych, wały strzepywaczy, dyfuzor, konfuzor,
- elektryczna: transformatory wraz z okablowaniem doprowadzającym energię elektryczną do każdego urządzenia mechanicznego,
- termoizolacji: wełna mineralna montowana w komorze urządzenia oraz na dachu, w celu zachowania odpowiedniej temperatury we wnętrzu obiektu,
- orynnowania: rurociąg awaryjnego spustu oleju transformatorowego łączącego misy olejowe ze zbiornikiem znajdującym się pod elektrofiltrem.

Co roku przeprowadzane są badania kontrolne stanu technicznego urządzenia odpylającego przez specjalistyczną firmę z obszaru ochrony środowiska. Ponadto maszyna znajduje się pod stałą obserwacją specjalnie wykwalifikowanego zespołu nadzorującego pracę całego bloku energetycznego.

4.2. Diagnostowanie parametrów technologicznych

Obiekt badań został oddany do użytku w 2013 roku, maszyna odpylająca składa się z dwóch sekcji pracy. Urządzenie ma cztery komory odpylania oraz osiem niezależnie zasilanych pól. W tabeli 1 zostały przedstawione parametry urządzenia, jakie powinien spełniać podczas normalnego trybu pracy.

Tabela 1. Główne parametry obiektu badanego
Table 1. Main parameters of the research facility

Czynna wysokość pola elektrycznego	9,7 [m]
Czynna długość pola elektrycznego	16 [m]
Nominalna prędkość przepływu gazów w elektrofiltrze	0,88 [m/s]
Maksymalna prędkość przepływu gazów w elektrofiltrze	0,98 [m/s]
Zawartość CO ₂ na wylocie z kotła	13,00%
Projektowany maksymalny spadek temperatury w elektrofiltrze	5°
Projektowany spadek ciśnienia w elektrofiltrze	Nominalny 120 [Pa]
	Maksymalny 150 [Pa]

Badanie kontrolne przeprowadzone w grudniu 2015 roku metodą grawimetryczną, wykazało spadek najważniejszych parametrów pracy urządzenia, takich jak: sprawność odpylania pyłu przez elektrofiltr, średnia temperatura gazów spalinowych na wlocie i wylocie obiektu badań oraz temperatury panującej we wnętrzu komory. Modernizacja elektrofiltru polegała głównie na wymianie

warstwy izolacji wykonanej z wełny mineralnej pokrywającej komorę oraz dach maszyny. Uszkodzeniu uległa również część warstwy blachy w kanale transportującym gazy spalinowe do obiektu.

Badanie stanu technicznego elektrofiltru przeprowadziła wyspecjalizowana firma (ENERGOPOMIAR Sp. z o.o.), która zajmuje się realizacją usług pomiarowych oraz badawczych, dotyczących procesów, układów i urządzeń energetycznych. Po wykonaniu czynności naprawczych należało ponownie przebadać poszczególne wartości kluczowych własności funkcjonalnych urządzenia. Wyniki dokonanych pomiarów według normy PN-Z-04030-7:1994 zestawiono w tabelach 2 oraz 3 (oznaczenie w tabeli 2 KL – kanał lewy, KP – kanał prawy).

Tabela 2. Temperatura gazów odlotowych w elektrofiltrze
Table 2. The temperature of exhaust gases into an electrostatic precipitator

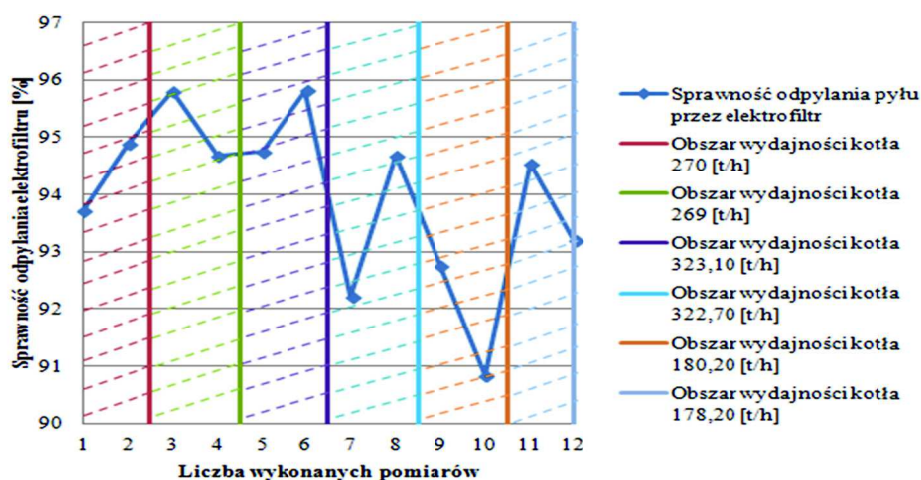
Temperatura gazów spalinowych przed oczyszczeniem								
Wydajność kotła OO 320 [t/h]	323,1				178,2			
Nr próby	998		998		995		995	
Temperatura gazu (kanał spalinowy) [°C]	KL	KP	KL	KP	KL	KP	KL	KP
	165,3	165,9	166,8	167,5	169,0	171,6	169,4	171,1
Temperatura gazów spalinowych po odpyleniu w elektrofiltrze								
Wydajność kotła OO 320 [t/h]	323,1				178,2			
Nr próby	997		997		994		994	
Temperatura gazu (kanał spalinowy) [°C]	164,3		166,0		169,1		168,3	

Tabela 3. Zestawienie parametrów wpływających na zmianę sprawności urządzenia
Table 3. List of parameters which are affecting to change an efficiency of the device

WYDAJNOŚĆ KOTŁA ENERGETYCZNEGO [t/h]	STĘŻENIE DROBIN ZANIECZYSZCZEŃ W SPALINACH-PYŁ + AEROSOL H ₂ SO ₄ [mg/m ³]		SPRAWNOŚĆ ODPYLANIA PYŁU PRZEZ ELEKTROFILTR [%]
	WLOT GAZÓW SPALINOWYCH	WYLOT OCZYSZCZONEGO POWIETRZA	
270,0	50,5	3,17	93,72
	52,0	2,66	94,89
269,0	45,5	1,91	95,80
	45,3	2,41	94,68
323,1	46,2	2,42	94,76
	49,5	2,07	95,82
322,7	40,0	3,11	92,23
	41,6	2,21	94,69
180,2	40,5	2,93	92,77
	38,0	3,48	90,84
178,2	36,6	2,00	94,54
	35,8	2,43	93,21

Podczas realizacji badania wykwalifikowany zespół z firmy zajmującej się ochroną środowiska wykonuje wiele pomiarów parametrów pracy elektrofiltru, które później są szczegółowo analizowane. W tabelach znajdują się już wyselekcjonowane wartości uzyskanych wyników badania umieszczane w sprawozdaniu z wykonania pomiarów kontrolnych.

Wyniki badań pozwalają na określenie sprawności elektrofiltru (rys. 2) przedstawiającej zależność sprawności elektrofiltru od zmieniających się parametrów pracy kotła energetycznego, ukazujący wpływ wartości temperatury spalin, prędkości gazów odlotowych na funkcjonowanie obiektu badań.



Rys. 2. Wykres sprawności elektrofiltru
Fig. 2 Graph of graph of an efficiency electrostatic precipitator

4.3. Stosowane metody naprawcze

Czynności naprawcze wykonywane przez firmy budowlano-monterskie specjalizujące się w modernizacjach urządzeń specjalnych dla przemysłu chemicznego, petrochemicznego i energetycznego realizowane są na podstawie przeprowadzonych wcześniej badań kontrolnych. W zależności od występujących uszkodzeń w obiekcie metody naprawcze mogą polegać na:

- naprawie lub wymianie elementów wchodzących w skład systemu elektrod zbiorczych i ulotowych, stanowiących fundament prawidłowo wykonywanej pracy przez elektrofiltr,
- wymianie poszczególnych części bądź zespołów usuwające osadzający się pył na elektrodach zbiorczych, w celu naprawy mechanizmu strzepywania,
- zastąpieniu uszkodzonych części blach zabudowy głównej komory nowymi elementami,
- wymianie uszczelnień włączów i naprawy powłok antykorozyjnych włączów,
- wymianie warstwy izolacji termicznej znajdującej się na dachu i pokrywających komorę maszyny odpylającej,
- naprawie nieszczelności kanału transportującego gazy spalinowe do elektrofiltru.

Bez względu na to, jaki rodzaj uszkodzenia wystąpi w urządzeniu należy zawsze przeprowadzić czynności kontrolne ukazujące zniszczenie poszczególnych elementów maszyny na podstawie, których realizowane są późniejsze czynności naprawcze. Zbierane są również informacje o najbardziej krytycznych częściach, zespołach w obiekcie w celu prognozowania dalszych napraw urządzenia.

5. WNIOSKI

Zagadnienia zawarte w pracy miały umożliwić sformułowanie odpowiedzi na postawiony cel badawczy pracy: „Jakie są metody przeprowadzania czynności kontrolnych, umożliwiających określenie zdatności urządzenia specjalnego, znajdującego się w bloku energetycznym?”.

Bezpieczna, bezawaryjna i ciągła praca obiektów krytycznych są bezwzględnie wymagane wszędzie tam gdzie chodzi o wysoką niezawodność i jakość wytworów. O wyżej wymienione cechy systemów złożonych troszczyć się należy szczególnie, gdy przy ich pomocy sterujemy ważnymi projektami albo obsługujemy wielkie systemy produkcyjne. Niezawodność systemu jest potrzebna dla bezpiecznej pracy sterowanych urządzeń i nadzorowanych procesów technologicznych.

Od obiektu specjalnego, należącego do grupy odpylaczy służących do ochrony środowiska od szkodliwych związków pochodzących z procesu spalania z kotła energetycznego, wymaga się prawidłowego i niezawodnego wykonywania pracy. W świetle przepisów z zakresu ochrony środowiska funkcjonowanie elektrofiltru w przemyśle energetycznym stanowi kluczową rolę. Prawidłowa praca elektrofiltru wpływa na sprawność działania całego bloku energetycznego.

Niebezpieczne dla urządzenia są tzw. słabe ogniwa, które mogą powodować przyspieszanie się zużycia poszczególnych elementów maszyny. Tym samym generują one uszkodzenia w obiekcie, powodując przejście urządzenia w stan niezdatności. Ważne jest zatem stosowanie odpowiednich metod diagnozowania parametrów technologicznych pracy urządzeń oraz monitorowanie aktualnego stanu technicznego obiektu, aby nie dopuścić do awarii maszyny, często prowadzącej do jej likwidacji. Właściwie przeprowadzone czynności naprawcze umożliwiają przedłużenie fazy poprawnej eksploatacji urządzenia.

LITERATURA

- [1] Dokumentacja Techniczno-Ruchowa firmy TECH-MONT Engineering, Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru, str. 6.
- [2] HAVILAND R.P.: Niezawodność urządzeń technicznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 1968, 150.
- [3] http://www.testbroker.pl/pl/zakres_oznakowania_ce/dyrektywa_maszynowa.
- [4] JUDA J., NOWICKI M.: Urządzenia odpylające. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 1986, 21.
- [5] MACHA E.: Niezawodność maszyn. Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, 2001.

- [6] Praca zbiorowa pod redakcją MIGDAŁSKIEGO J.: Inżynieria Niezawodności. Wydawnictwo ATR Bydgoszcz, 1992, 354-355, 465.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz.U. nr 260, poz. 2181).
- [8] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. nr 62, poz. 627, z późniejszymi zmianami).
- [9] Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń strumienia objętości, stężenia zapylenia spalin na wlocie do elektrofiltru kotła OO 320.
- [10] ŻÓŁTOWSKI M.: Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. Wydawnictwo ITE-PIB Radom, 2011.
- [11] ŻÓŁTOWSKI B., LANDOWSKI, B., PRZYBYLIŃSKI B.: Design of machine operation, ITE – National Research Institute, Radom, 2012.
- [12] ŻÓŁTOWSKI, B., ŁUKASIEWICZ M., KAŁACZYŃSKI T.: Information technology in the research of machine condition, Ed. UTP Bydgoszcz, 2012.

THE RESEARCH OF WEAK LINKS IN A COMPOSITE OBJECT

Abstract: In this article some problems about searching, so-called "weak links" in critical machines (complex) have been discussed. The author analyzed methods of localizing elements especially susceptible to damage. The analysis of the research of weak links in a composite object has been performed on the basis of searching defective parts and assemblies in the electrostatic precipitator. These parts could lead to a machine failure. In this thesis it has been explained how to diagnose technological parameters of normal devices operation based on applied method of machine control state, according to the standard PN-Z-04030-7:1994. On the basis of this standard, subsequent corrective actions of the device are executed.

Key words: a weak link, a composite object, the reliability, the electrostatic precipitator