



Ryszard Boyke

Hestia Loss Control, specjalista ds. oceny ryzyka, zajmuje się zagadnieniami ryzyka uszkodzenia maszyn i urządzeń, utraty zysku oraz ryzyk budowlano-montażowych, inżynier, absolwent Politechniki Gdańskiej, w Grupie Ergo Hestia od 1994 roku.



Ryzykowne maszyny

Borykając się z problemami awaryjności maszyn, można postawić pytanie: czy dzisiaj, w XXI wieku, mając do dyspozycji najnowsze zdobycze technologii materiałowej, supernowoczesne techniki obróbki mechanicznej, cieplnej i chemicznej, możliwe jest zbudowanie maszyny, która byłaby niezawodna, bezawaryjna i bezpieczna w ciągu długiego okresu eksploatacji, na przykład przez 50 lat? Odpowiedź brzmi: tak, teoretycznie jest to możliwe.

Zacznijmy jednak od początku

Uprzemysłowienie na dużą skalę stało się możliwe dzięki wynalezieniu silnika parowego przez Jamesa Watta (1736 ÷ 1819). Wynalazek ten został opatentowany w roku 1769 w Anglii jako pierwszy użyteczny silnik parowy. James Watt w założonej przez siebie pierwszej na świecie wytwórni maszyn parowych do roku 1800 wyprodukował około 250 silników. Silniki tłokowe, w których czynnikiem roboczym była para wodna rozpoczęły karierę. W pierwszej połowie XIX wieku - nazwanego później „wiekiem pary i elektryczności” - w samej tylko Anglii wykorzystywano już setki kotłów jako wytwornice pary i silników parowych. Niestety, maszyny w tamtym czasie cechowały się wysoką awaryjnością. Wiązało się to przede wszystkim z niedoskonałą konstrukcją, stosowanymi do ich produkcji materiałami, mało skutecznymi zabezpieczeniami i niskim poziomem wiedzy technicznej obsługi. Szczególnie wysokie straty powodowały wybuchy kotłów parowych. Tak samo awaryjne były wynalazki w II połowie XIX wieku turbiny parowe i silniki elektryczne. Należy pamiętać, że większość - jeśli nie wszystkie - budowanych wówczas maszyn była prototypami.

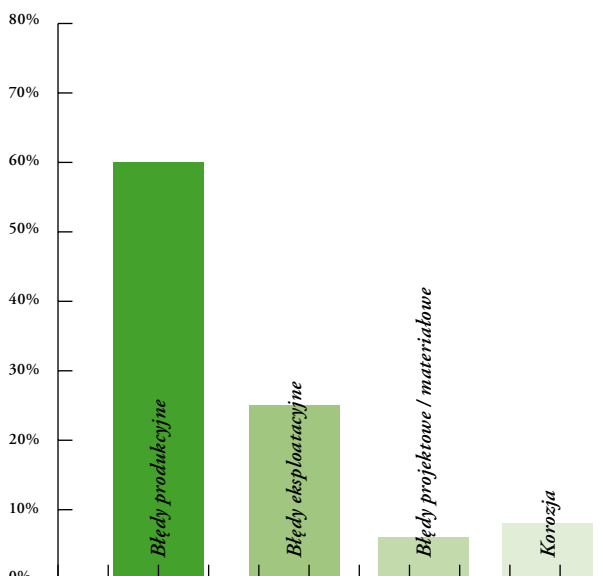
Wyraźne zahamowanie rozwoju budowy maszyn wystąpiło na przełomie lat dwudziestych i trzydziestych XX wieku, w okresie wielkiego kryzysu gospodarczego. Nie było wówczas motywacji dla wynalazczości, ograniczono też nakłady na badania i rozwój technologii oraz technik wytwórczych w zakresie budowy nowych, lepszych maszyn. Wszystko się zmieniło dopiero po zakończeniu drugiej wojny światowej, kiedy to spadło zapotrzebowanie na sprzęt wojskowy a wzrósł popyt na wyroby konsumpcyjne. Tempo rozwoju techniki oraz chęć budowania maszyn coraz bardziej sprawnych i wydajnych, często bez należytego uwzględnienia czynnika niezawodności, wpływały na ich wysoką awaryjność. Koszty remontów i przestojów produkcyjnych spowodowały, że zaczęto coraz więcej uwagi poświęcać zagadnieniom niezawodności urządzeń. Trudno jednak oprzeć się wrażeniu, że wśród projektantów i konstruktorów pokusa projektowania i budowania maszyn tańszych niż konkurencja ciągle jest duża. Ze wszystkimi tego konsekwencjami.

Awaryjność maszyn

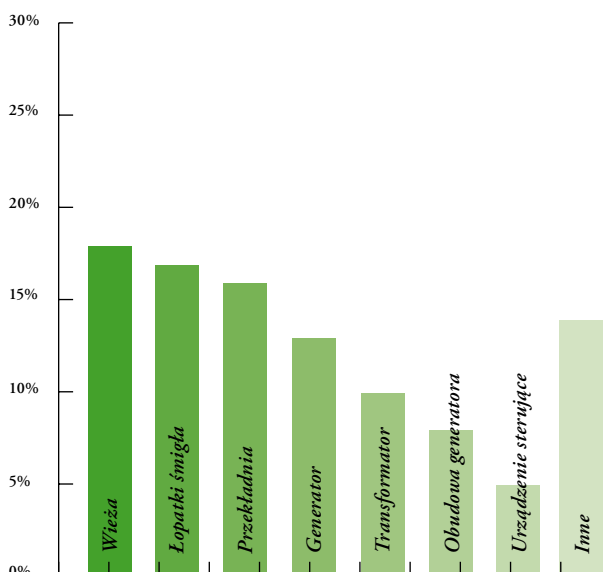
Ogólnie rzecz ujmując, maszyny ulegają uszkodzeniom częściej z powodu błędów wykonawczych i montażowych niż eksploatacyjnych. Dla zobrazowania tego posłużę się danymi dotyczącymi uszkodzeń w elektrowniach wiatrowych.

W bilansie wytwarzanej energii źródła odnawialne będą odgrywały coraz większą rolę. Potencjał energii wiatru na ziemi jest ogromny. Ocenia się, że wynosi on około 480 000 TWh/rok. Wykorzystując tylko 10% terenów nadających się pod budowę siłowni wiatrowych można by uzyskać produkcję energii elektrycznej rzędu 50 000 TWh/rok. Jest to trochę ponad 30% tego, co w Polsce w roku 2000 wyprodukowały wszystkie konwencjonalne elektrownie ciepłne, opalane węglem.

Przyczyny uszkodzeń elektrowni wiatrowych



Bazując na około 3 000 przypadkach uszkodzeń siłowni wiatrowych, uzyskano dane o częstości uszkodzeń poszczególnych elementów urządzeń.



Statystyki pokazują również, że częstotliwość i rozmiar awarii maszyn są zróżnicowane w zależności od branży przemysłowej, w której są eksploatowane. Można powiedzieć, że w przypadku mało skomplikowanych procesów technologicznych uszkodzenia powstałe w wyniku błędów produkcyjnych lub montażu urządzeń zdarzają się częściej niż skutek niewłaściwej eksploatacji. Natomiast w zakładach produkcyjnych stosujących złożone i niebezpieczne technologie - dotyczy to na przykład branży chemicznej - przyczyną uszkodzeń znacznie częściej są błędy eksploatacyjne.

Zagrożenia w eksploatacji

Chciałbym zwrócić uwagę na kilka wybranych czynników stwarzających zagrożenia dla bezpiecznej eksploatacji maszyn i urządzeń.

BŁĘDNA KONSTRUKCJA

Zagrożenia mogą wynikać z błędów w obliczeniach, w wykonaniu dokumentacji technicznej, użyciu niewłaściwych materiałów, nieprawidłowego wykonania odlewów itp. W urządzeniach prototypowych błędy niewykryte na etapie produkcyjnym, wcześniej lub później ujawnią się w czasie eksploatacji. Często usterki stwierdzone są po upływie gwarancji producenta. Nawet pomimo stosowania nowoczesnych metod testowania nie zawsze udaje się uniknąć tego typu problemów. W takim przypadku należy sobie tylko życzyć, aby usterki nie były przyczyną groźnej awarii, a zostały wykryte podczas kolejnych przeglądów kontrolnych.

WARUNKI TECHNICZNO-EKSPLOATACYJNE

Niezwykle istotne jest to, czy urządzenia narażone są na działanie wysokich ciśnień lub próżni, wysokich temperatur, oddziaływania elektryczne lub posiadają części wirujące. Wybuchem lub implozją wskutek działania wysokiego ciśnienia lub stanu próżni zagrożone są nie tylko zbiorniki, ale również wszelkie urządzenia ciśnieniowe stosowane w procesie technologicznym. Awarie wskutek działania wysokich temperatur zdarzają się, mimo że elementy i podzespoły narażone na działanie ciepła wymieniane są po upływie określonej ilości przepracowanych godzin (zgodnie z zaleceniem producenta) niezależnie od ich stopnia zużycia. Urządzenia elektryczne w wyniku przepływu prądów zwarciovych mogą zostać uszkodzone poprzez oddziaływania termiczne i dynamiczne. Zarówno ilość powstającego podczas zwarcia ciepła, jak i wielkość sił dynamicznych, jest proporcjonalna do kwadratu wartości przepływającego prądu zwarciovego. Przepięcia elektryczne najczęściej skutkują uszkodzeniami izolacji elektrycznej. W elektrowniach ciepłych turbozespoły (turbiny i generatory) ze względu na posiadane elementy wirujące i działanie sił odśrodkowych narażone są na bardzo poważne uszkodzenia. Ten rodzaj szkód nie występuje zbyt często, jednak we wszystkich przypadkach prowadzi do zniszczenia samej maszyny oraz uszkodzenia mienia znajdującego się w najbliższym otoczeniu, sąsiednich urządzeń lub elementów budynku.

Kolejnym ważnym czynnikiem mówiącym o ryzyku uszkodzenia maszyn jest liczba przepracowanych godzin. Dla urządzeń energetycznych przepracowane godziny określone są jako godziny ekwiwalentne. Liczba wyliczonych ekwiwalentnych godzin pracy urządzeń bloku zależy między innymi od liczby rzeczywistych godzin pracy, startów i wyłączeń z różnych poziomów mocy, wyłączeń awaryjnych, gdy energia kinetyczna wirnika maszyny „wytracana” jest w materiale, zrzutów mocy itp.

Dla wielu z nas data produkcji urządzenia kojarzona jest z jego stanem technicznym. Stan techniczny urządzenia nowego uznaje się za dobry, zaś w przypadku urządzeń „wiekowych” bardziej prawdopodobny jest zły stan techniczny. W wielu przypadkach takie podejście jest mylące. Można przyjąć, że

podzespoły szczególnie narażone na uszkodzenia zostały wymienione podczas kolejnych remontów planowych lub modernizacji. Jeżeli znamy zakres przeprowadzonych dotychczas remontów i wiemy, że był on znaczący, możemy być spokojni o bezpieczną eksploatację danej maszyny.

PROCES TECHNOLOGICZNY

Analizując zagrożenia wynikające z procesu technologicznego, pomijam branże, w których procesy produkcyjne kwalifikujemy jako niebezpieczne, na przykład niektóre technologie w przemyśle chemicznym. W każdym procesie technologicznym za istotne i zasługujące na uwagę uznałbym zagrożenia wynikające przede wszystkim z nieprawidłowego działania aparatury monitorującej oraz zabezpieczeń technologicznych i elektrycznych. Dużą rolę odgrywa również sposób sterowania urządzeniami. Sterowanie ręczne stwarza możliwość popełnienia błędu przez obsługę, co łącznie z nieprawidłowym działaniem zabezpieczeń może być przyczyną awarii. Zagrożenie błędami podczas sterowania jest znacznie mniejsze, gdy odbywa się z wykorzystaniem systemów elektronicznych i urządzeń automatyki.

ZASADY EKSPLOATACJI

Zagrożeniem dla bezpieczeństwa maszyn podczas eksploatacji są:

- błędy w obsłudze urządzeń - niezależnie od podjętych środków bezpieczeństwa nieprawidłowości w obsłudze mogą wystąpić w dowolnym czasie, wyrządzając poważne szkody;
- nieprawidłowo wykonywana konserwacja i naprawy bieżące - istotne jest, aby czynności konserwacyjne, w tym również przeglądy okresowe, co do zakresu i częstości były wykonywane zgodnie z instrukcją eksploatacji opracowaną na podstawie zaleceń producenta, obowiązujących przepisów, np. branżowych oraz własnych doświadczeń;
- nieprawidłowo organizowane remonty planowe - dawniej organizacja remontów planowych opierała się przede wszystkim o zalecenia zawarte w dokumentacji techniczno-ruchowej maszyny oraz na obowiązujących przepisach państwowych lub branżowych. Obecnie remonty okresowe planowane są głównie w oparciu o stan techniczny maszyny określany na podstawie badań diagnostycznych lub informacji uzyskanych z poprzednich remontów oraz uwag z bieżącej eksploatacji, prowadzi to do wydłużania okresów pomiędzy remontami planowymi, co jest uzasadnione względami ekonomicznymi - tendencja ta jest niepokojąca, ponieważ (jak pokazują badania) skracanie czasu remontów planowych idzie w parze z wydłużaniem czasu remontów bieżących i awaryjnych. Zjawisko to nie jest korzystne dla ubezpieczycieli.

CZYNNIKI ZEWNĘTRZNE

Omawiając awaryjność maszyn wskutek działania czynników zewnętrznych, pomijam negatywne skutki warunków pogodowych, trudne warunki pracy urządzeń i aparatów eksploatowanych np. w przemyśle chemicznym. Na zmiany temperatury, wilgotności i agresywnie chemiczną atmosferę urządzenia są odporne, ponieważ tak zostały zaprojektowane i wykonane. Chciałbym natomiast zwrócić uwagę na problem wandalizmu, a właściwie działań przestępczych. Mam na myśli kradzieże elementów konstrukcyjnych

w napowietrznych liniach elektroenergetycznych oraz kradzieże części przewodzących w liniach napowietrznych i kablowych. Przed rokiem 1980 kradzieże stalowych elementów konstrukcji słupów tłumaczono ich brakiem na rynku i niemożnością zakupu. Dzisiaj, gdy rynek materiałów dla budownictwa zasadniczo się zmienił, a stal, aluminium i miedź „pozyskiwaną” tak, jak dawniej, nadal można odnaleźć sprzedawaną na składowisku złomu. Przerwy w zasilaniu, nawet jeśli nie spowodują uszkodzenia maszyny, zawsze prowadzą do strat związanych z czasowym zatrzymaniem produkcji.

Przestoje produkcyjne

Jeżeli uszkodzona maszyna nie jest rezerwowana w ciągu technologicznym, jej unieruchomienie powoduje straty finansowe związane z przestojem produkcyjnym. Wielkość strat zależy bezpośrednio od długości czasu naprawy lub wymiany maszyny. Bardzo istotnym, jeżeli nie najważniejszym, czynnikiem skracającym czas naprawy jest posiadanie lub możliwość łatwego pozyskania części zamiennych. Obecnie rynek zapewnia stosunkowo łatwy dostęp do wielu niezbędnych elementów i podzespołów stosowanych w naprawie maszyn. Nie dotyczy to jednak wszystkich części zamiennych. Długie cykle dostaw dotyczą np. wyrobów hutniczych ze stali specjalnych. Czas dostawy łopatek do turbin wynosi nawet kilkanaście miesięcy, a jego skrócenie jest praktycznie niemożliwe.

Minimalizacja zagrożeń i ich skutków

Zapobieganie awariom sprowadza się do zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia awarii i ograniczenia jej skutków, jeśli jednak wystąpi. Podejmując działania, które mają na celu minimalizację zagrożeń i skutków awarii maszyn, należy odpowiedzieć sobie na dwa pytania. Jaka jest niezawodność i skuteczność środków, które mają być zastosowane? Czy istnieje ekonomiczne uzasadnienie ich zastosowania? Możemy ograniczyć awaryjność maszyn, stosując środki techniczne i organizacyjne.

ŚRODKI TECHNICZNE:

- zabezpieczenia technologiczne i elektryczne - prawidłowe działanie zabezpieczeń;
- komputerowa kontrola parametrów pracy urządzeń
 - człowiek najsłabszym ogniwem systemu, archiwizacja pomiarów, analiza trendów zmian;
- diagnostyka stanu technicznego maszyn - prowadzona jest w celu możliwie wczesnego wykrycia oznak potencjalnych awarii i konieczności przyszłych napraw.

Stosowanie właściwych metod diagnostycznych sprowadza się do wyboru tego, czego będziemy poszukiwali, czym i w których miejscach. Badania diagnostyczne mogą być prowadzone podczas okresowych krótkich przestojów lub w czasie pracy maszyn. Część parametrów może być kontrolowana w systemie *on line*, przez zainstalowane na stałe urządzenia pomiarowe. Dokładna lokalizacja usterki lub nieprawidłowej pracy maszyny jest możliwa w wyniku rozszerzenia zakresu badań o badania termowizyjne (wykrycie lokalnych miejsc przegrzania), badania rtg lub ultradźwiękowe (znajdowanie wad materiałowych), badania endoskopowe lub kontrolę drgań.

DZIAŁANIA ORGANIZACYJNE:

- prawidłowa obsługa - powinna być prowadzona zgodnie z zaleceniami instrukcji eksploatacji, sterowanie urządzeniami z możliwie szerokim wykorzystaniem techniki komputerowej i urządzeń automatyki, wykonanie niektórych szczególnie ważnych z punktu widzenia bezpieczeństwa sekwencji uruchomienia urządzeń powinno być wymuszone blokadami technologicznymi itp.;
- konserwacja i naprawy bieżące - właściwa i nieustanna konserwacja urządzeń ma zasadnicze znaczenie dla zapobiegania uszkodzeniom; koszty napraw mogą być zmniejszone przez stosowanie zaleceń producenta co do częstości i zakresu konserwacji jak i wymiany szybko zużywających się elementów;
- remonty planowe średnie i kapitalne - celem gospodarki remontowej jest utrzymanie parku maszynowego w stanie technicznym umożliwiającym zachowanie jego pełnej dyspozycyjności; planowanie remontów powinno odbywać się w oparciu o ocenę stanu technicznego urządzeń na podstawie wyników badań diagnostycznych, doświadczeń z bieżącej eksploatacji, wymagań dokumentacji techniczno-ruchowej oraz zewnętrznych instytucji kontrolujących; dochodzenie do wydłużonych okresów pomiędzy remontami powinno być procesem ciągłym i odbywać się za zgodą producenta lub firmy serwisowej;
- pozyskanie części zamiennych - prawidłowo prowadzona gospodarka częściami zamiennymi powinna zapewniać zapas szybko zużywających się i trudno osiągalnych części dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji, przez co rozumie się utrzymanie możliwie krótkich przerw w produkcji powodowanych koniecznością wykonywania napraw; części powinny być pozyskiwane ze źródeł, które zapewniają ich wysoką jakość, zaś minimalizacja zapasów magazynowych jest dopuszczalna, gdy zakład ma pewność co do zapewnienia części zamiennych na potrzeby remontu awaryjnego;
- kontrola instytucji zewnętrznych - kontrolując stan techniczny urządzeń, instytucje zewnętrzne stawiają zalecenia mające na celu poprawę bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń; ich realizacja jest dla zakładu obowiązkowa.

Niezawodność, ale tylko w teorii

Wróćmy do postawionej na wstępie tezy o budowie maszyny niezawodnej. Jakie cechy posiadałaby taka maszyna? Maszyna niezawodna oprócz wielu zalet odznaczałaby się bardzo wysokim kosztem budowy. Produkowałaby ten sam wyrób w całym okresie użytkowania przy tych samych parametrach eksploatacyjnych, to jest zużyciu energii i wydajności. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że nikt takiej maszyny nie kupi, ponieważ nikt takiej maszyny nie potrzebuje. Należy zatem liczyć się z tym, że niektóre elementy czy podzespoły maszyn będą ulegały uszkodzeniom w ciągu całego okresu eksploatacji, zanim upłynie określony przez producenta czas całkowitego zużycia się maszyny. Konstruując nową maszynę, wybieramy kompromis pomiędzy jej możliwościami technicznymi, niezawodnością i ceną.

Ryszard Boyke
ryszard.boyke@hestia.pl