

#### 1.4. MOTYWACJA EKONOMICZNO-NIEZAWODNOŚCIOWA DIAGNOSTYKI WA

Jak już stwierdziliśmy na początku rozdziału, diagnostyka WA powstała jako odpowiedź nauki i badań stosowanych na rosnące zapotrzebowanie przemysłu. Można by więc rzec, iż truizmem jest stwierdzenie o jej wysokiej efektywności w dziedzinie podwyższania jakości nowych wytworów oraz o dużych efektach niezawodnościowo-ekonomicznych w sferze eksploatacji. Jednak w sferach projektowania, wytwarzania i eksploatacji obowiązuje szeroko rozumiane prawo wartości i choćby z tego powodu warto szerzej naświetlić to zagadnienie na najbardziej spektakularnym przykładzie diagnostyki eksploatacyjnej maszyn.

W dziedzinie eksploatacji maszyn od wielu lat istnieją dwa sposoby regeneracji parku maszynowego: remont poawaryjny oraz planowy remont zapobiegawczy. Pierwszy sposób stosuje się w przypadkach, kiedy awaria i przerwa remontowa nie spowodują liczących się strat. Z kolei remont planowany dla maszyn realizujących odpowiedzialne zadania ma zapobiegać niespodziewanej awarii i wynikającym z tego stratom. Tego typu eksploatacja maszyn cechuje się jednak dwiema niekorzystnymi własnościami. Po pierwsze nie daje gwarancji uniknięcia niespodziewanych awarii, po drugie największa ich liczba zdarza się tuż po remoncie zapobiegawczym (patrz późniejszy przykład fabryki chemicznej w Norwegii - str. 25). Zatem dla grupy maszyn realizujących odpowiedzialne zadania należy przyjąć trzeci sposób eksploatacji, w którym remont maszyny wyznaczony jest jedynie przez jej stan eksploatacyjny. Oznacza to, że termin, przyczyny i zakres remontu ustalony jest za pomocą metod i środków drganiowej diagnostyki maszyn.

W systemie remontów poawaryjnych liczące się efekty daje diagnostyka częściowa, z której bierze się wiedzę o zakresie remontu i rodzaju części do wymiany. W każdym zaś z wymienionych systemów eksploatacji diagnostyka WA jest skuteczną metodą oceny jakości remontu i obiektywizuje decyzje dopuszczenia maszyny do ruchu.

Efekty stosowania diagnostyki WA w eksploatacji maszyn są wielorakie i można je rozdzielić na trzy kategorie:

- podwyższenie bezpieczeństwa (wypadki, zagrożenie zdrowia),
- podwyższenie efektywności i wydajności produkcji,
- podwyższenie jakości produkcji.

Bliższe specyfikację tych korzyści w ujęciu jakościowym przedstawia tabela 1.2, sporządzona na podstawie raportu dla przemysłu brytyjskiego [9].

Dziedziny przemysłu, w których te korzyści są najbardziej wymierne to zakłady o ruchu ciągłym w branżach takich jak:

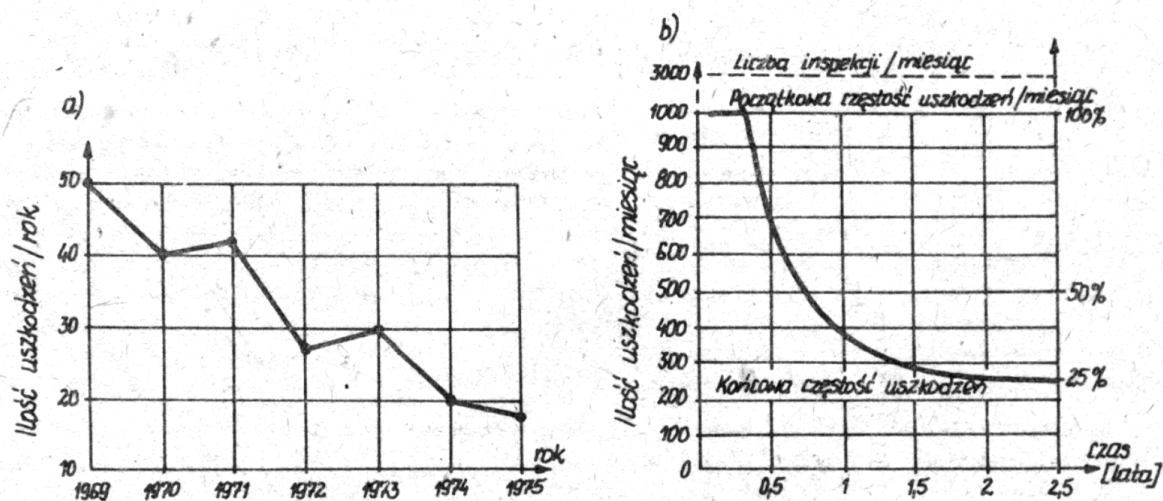
- wielka chemia i związane z nią gałęzie przemysłu,
- wydobywanie i przetwórstwo węgla, metali, ropy naftowej,
- wytwarzanie elektryczności, gazu i wody.

Wartościowo sięga to oszczędności rzędu 0,5 do 3% produkcji czystej przedsiębiorstwa [9], zależnie od sektora gospodarczego. Te zaoszczędzone środki powstają w 35% z tytułu zmniejszenia kosztów regeneracji parku maszynowego, zaś w 65% z tytułu wzrostu wydajności produkcji (patrz tab. 1.2).

Aby nie być gołosłownym warto przytoczyć dane liczby uszkodzeń na rok w okresie wprowadzania diagnostyki WA w zakładzie. Dane takie podaje m.in. Hudachek [10] opierając się na swych doświadczeniach w rafineriach Chevron Oil - USA. Jak wynika z rysunku 1.6. ilustrującego to zagadnienie, liczba uszkodzeń w roku zmniejszyła się w jednej z rafinerii z 50 do 16.

## Korzyści z wprowadzenia diagnostyki WA w przemyśle [9]

Korzyści		Sposób, w jaki można korzyści osiągnąć	
		Predykcja awarii	Lepsza znajomość maszyn
Bezpieczeństwo	Zmniejszona liczba wypadków spowodowanych przez maszyny	Umożliwia bezpieczne wyłączenie z ruchu, jeśli natychmiastowe zatrzymanie jest niemożliwe	Alarm układu nadzoru jest wystarczającym powodem wyłączenia. Jeśli natychmiastowe zatrzymanie jest możliwe.
	Zmniejszone zagrożenie zdrowia personelu przez drgania i hałas	Umożliwia wycofanie personelu ze strefy zagrożonej awarią.	Unika się niepotrzebnych wydatków na dodatkowe zmniejszenie drgań i hałasu
Wydajność - Efektywność	Zwiększona dyspozycyjność maszyn	Dłuższy czas eksploatacji	Umożliwia uniknięcie strat z tytułu nieplanowanego wyłączenia z ruchu
		Krótszy czas remontu	Umożliwia zatrzymanie ruchu na czas, bez uszkodzeń i zniszczeń wydłużających czas remontu. Umożliwia przystąpienie brygady remontowej do pracy z odpowiednimi częściami zapasowymi już w chwili zatrzymania ruchu
	Zwiększona wydajność produkcji	Pozwala na planowanie wydajności w czasie	Umożliwia ponad dwukrotne zwiększenie przebiegu międzyremontowego. Jeśli to jest konieczne, pozwala na eksploatację bez planowanego remontu.  Zmniejsza czas badania stanu maszyny po zatrzymaniu i przyspiesza podjęcie właściwych działań remontowych
Jakość	Lepsza jakość wyrobów i usług		Umożliwia eksploatację pewnych maszyn przy zwiększonym obciążeniu lub prędkości. Pozwala wykryć zmniejszenie sprawności maszyn lub zwiększony pobór energii.
			Umożliwia zawansowane planowanie dla uniknięcia przerw w dostawach dla nabywcy produktów lub usług, a tym samym podwyższa dobrą reputację producenta.  Umożliwia zmniejszenie liczby wybrakowanych wyrobów lub zmniejszenie liczby usług na poziomie niższym od obowiązujących norm.



Rys.1.6. Zmniejszenie intensywności uszkodzeń w rafinerii [10](a) i w jednym z zakładów przemysłowych (b) [11] - jako skutek wprowadzenia diagnostyki

Tutaj również w ciągu 7-letniego okresu wprowadzania diagnostyki WA uzyskano poniższe dane niezawodnościowo-ekonomiczne:

- zmniejszenie kosztów napraw o 20-30% - zależnie od typu maszyny,
- zwiększenie czasu międzynaprawczego z 3 lat do 7-8 lat,
- zmniejszenie zużycia energii o 1%,
- zmniejszenie zagrożenia drganiowego i hałasowego na terenie rafinerii.

Jeszcze bardziej optymistyczne dane podaje firma konsultancka VCI-Ltd z Anglii, opierając się na swej praktyce przemysłowej [11]. Z danych tych wynika, że przy liczbie 3000 maszyn (rys.1.6b) liczba uszkodzeń/miesiąc może spaść nawet czterokrotnie w ciągu 2,5 roku wdrażania diagnostyki. Podobne wyniki zanotowano w duńskim oddziale rafinerii firmy Esso [14].

Z przytoczonych danych można znaleźć charakterystyki niezawodnościowe rozpatrywanej grupy maszyn, takie jak np.: niezawodność  $R(\theta)$ , intensywność uszkodzeń  $\lambda$ ! prawdopodobieństwo zdatności  $P_z(\theta)$  (lub wsp. gotowości). Oszacowania tych wielkości przy liczbie maszyn w ruchu  $N$  i liczbie uszkodzeń  $n(\theta)$ , ( $8 \cdot$  czas eksploatacji) można znaleźć ze związków [12.13]:

$$R(\theta) = \frac{N - n(\theta)}{N}, \quad \lambda(\theta) = \frac{n(\theta)}{[N - N(\theta)]\Delta\theta}, \quad P_z(\theta) = \frac{N - n(\theta)}{N} \quad (1.1)$$

Jak widać z powyższego, dla grupy maszyn pracujących w ruchu ciągłym z regeneracją określenie niezawodności  $R(\theta)$  jest zbieżne z oszacowaniem prawdopodobieństwa zdatności obiektu w ruchu ciągłym, co można również utożsamić ze współczynnikiem gotowości. Ponieważ oryginalna definicja niezawodności nie ujmuje odnowy, to zważywszy na powyższe będziemy się dalej posługiwać jedynie intensywnością uszkodzeń  $\lambda(\theta)$  i prawdopodobieństwem zdatności  $P_z(\theta)$ . Zwróćmy uwagę, że przy dużej liczbie eksploatowanych maszyn ( $N$ =duże) i małej liczbie uszkodzeń ( $n$ =małe)

możemy liczbę uszkodzeń w czasie  $n(\theta)/\Delta\theta$  jakościowo przyrównać do intensywności uszkodzeń:  $\lambda(\theta) \sim \frac{n(\theta)}{\Delta(\theta)}$  (gdzie  $\frac{n(\theta)}{N} \ll 1$ ). Tak więc możemy stwierdzić z naszych przykładów (rys.1.6), że intensywność uszkodzeń grupy maszyn spada trzy do czterech razy po wprowadzeniu diagnostyki WA. W ostatnio przykładzie (rys.1.6b) możemy obliczyć nawet prawdopodobieństwo zdatności, które dla czasu  $\theta=0$  było  $P_z(0) = \frac{3000-1000}{3000} = 0,66$ , zaś po dwu latach  $P_z(2,5) = 0,91$ . Tak więc wprowadzenie diagnostyki WA dało ponad 20% przyrost zdatności eksploatowanej grupy maszyn.

Podobne dane zamieszcza firma Bruel-Kjaer w swym poradniku diagnostycznym [14], podając przykład norweskiej fabryki chemicznej. W systemie remontów planowo-zapobiegawczych remontowano tutaj planowo 200 pomp rocznie, z których 30 uległo awarii tuż po remoncie z tytułu błędów naprawczych, a 17 uległo awarii z innych powodów w ciągu roku. Po wprowadzeniu diagnostyki WA roczna ilość remontów spadła do 14, przy czym czas i zakres remontu był z góry wiadomy. Obliczając stad prawdopodobieństwo zdatności bez wliczania zbędnych już remontów planowych mamy: bez diagnostyki  $P_{zD} \ll 0,765$ , a po wprowadzeniu diagnostyki  $P_{z0}=0,93$ , czyli blisko 20% przyrostu poziomu zdatności eksploatowanej grupy maszyn, podobnie jak w poprzednim przykładzie. Jak widać, rezultaty te są znaczące, warte wdrożenia i upowszechnienia.

W transporcie samochodowym zastosowanie diagnostyki przynosi również wymierne rezultaty. Według najnowszych badań radzieckich [15], z tytułu wprowadzenia diagnostyki można uzyskać:

- zwiększenie efektywności użytkowania pojazdów o 15+20%,
- zmniejszenie zużycia paliwa do 20%.
- zmniejszenie zużycia części zamiennych do 20%,
- obniżenie kosztów obsługi i napraw bieżących o 15%,
- zmniejszenie przestoju pojazdów o 30%.

Jest oczywiste, że te wymierne efekty niezawodnościowo-ekonomiczne nie zjawiają się za darmo i według autorów przytoczonego już raportu [9] od uzyskanych oszczędności (0,5 +3% produkcji czystej) trzeba odliczyć 16% na utrzymanie zespołu diagnostycznego i jego wyposażenia pomiarowego. Znaczy to, że nakłady na diagnostykę WA zwracają się w ponad 500%. Liczność tego zespołu zależna jest od potrzeb i według omawianego już raportu firmy Brüel-Kjaer [14] kwestia ta ma się następująco:

- pomiary i analiza wyników do 50 punktów miesięcznie => jeden inżynier diagnosta,
- pomiar i analiza od 50 do 1500 punktów miesięcznie => jeden technik + 1/2 etatu inżynier diagnosta tylko do oceny wyników,
- pomiary i analiza od 1500 do 3000 punktów miesięcznie => 2 techników + 1 inżynier diagnosta do oceny wyników.

Te wszystkie badania drganiowo-diagnostyczne można w zasadzie wykonać bardzo prostym zestawem pomiarowym w składzie:

- miernik drgań z możliwością pomiaru przyspieszenia, prędkości i prze-mieszczenia z wyjściem sygnału do nagrań na magnetofon.

- przenośny magnetofon bateryjny o zakresie częstości co najmniej od 10 Hz do 2 KHz,
- przenośny analizator widma wraz z rejestratorem X-Y do analiz poligonowych lub laboratoryjnych.

Do tego zestawu przyrządów i personelu niezbędna jest oczywiście jeszcze wiedza, której wartość ekonomiczna jest proporcjonalna do stopnia jej szerokości i złożoności. Wiedza w swym wymiarze podstawowym dla inżyniera diagnosty będzie treścią następujących rozdziałów książki jako całości. W swych różnych częściach książka ta może służyć różnym specjalistom zaangażowanym w ocenę stanu bądź jakości maszyn i innych urządzeń technicznych.