

Wibroakustyczna diagnostyka maszyn (WDM)

Wykład



Dr inż. Łukasz Jedliński

Utrzymanie ruchu

Utrzymanie ruchu jest terminem odnoszącym się do teorii, metod, technologii oraz technik, które są stosowane w celu zapewnienia sprawnego funkcjonowania maszyn i urządzeń [Mid 12].

Cele utrzymania ruchu [Mid 12]:

- osiągnięcie pożądanej jakości wyrobów lub usług,
- maksymalizacja ekonomicznego okresu użytkowania wyposażenia produkcyjnego,
- utrzymanie warunków bezpiecznej eksploatacji,
- maksymalizacja zdolności produkcyjnych oraz minimalizacja kosztów produkcji poprzez zapewnienie nielicznych przerw w procesie produkcji.

Utrzymanie ruchu

Główne funkcje utrzymania ruchu [Mid 12]:

- konserwowanie – utrzymanie normalnych możliwości operowania i przedłużenia przydatności obiektu,
- ulepszanie – podwyższanie niezawodności obiektu lub poprawianie warunków jego użytkowania,
- naprawianie – przywracanie lub podtrzymanie stanu normalnego obiektu technicznego utraconego w procesie jego użytkowania,
- przygotowanie – sprawdzenie, czy obiekt jest technicznie sprawny, wprowadzanie w stan zdatności do operowania bez wykonywania konserwacji, napraw i ulepszeń.

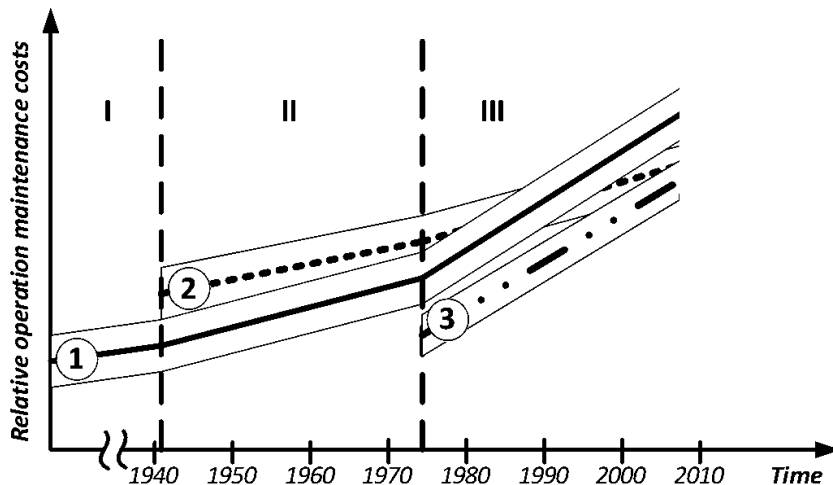
Utrzymanie ruchu

Systemy (strategie, okresy) utrzymania ruchu (klasyfikacja 1) [Leg 09]:

1. System **reaktywnego** utrzymania ruchu (reactive maintenance) – remonty po pojawieniu się uszkodzenia,
2. System **prewencyjnego** utrzymania ruchu (preventive maintenance) – planowo - zapobiegawcze remonty,
3. System **prognostycznego (proaktywnego)** utrzymania ruchu (predictive (proactive) maintenance PDM) – inspekcje zapobiegawcze, monitorowanie stanu technicznego, udział operatorów urządzeń i maszyn w utrzymaniu ruchu, RCM, TPM, 5S, samodzielne przeglądy.

Utrzymanie ruchu

Systemy (strategie) utrzymania ruchu (klasyfikacja 1) [Leg 09]



1. Strategia reaktywna
 2. Strategia prewencyjna
 3. Strategia prognostyczna (proaktywna)

Utrzymanie ruchu

Warunki stosowania systemów utrzymania ruchu (klasyfikacja 1) [Wal 12]

Generacja	I	II	III	
Nazwa	System napraw po powstaniu uszkodzenia	System remontów planowo-zapobiegawczych	System inspekcji zapobiegawczych	Proaktywne utrzymanie ruchu
Warunki stosowania	- produkcja jednostkowa i małoseryjna, gdzie remont zużytego lub uszkodzonego urządzenia nie powoduje istotnych trudności w przebiegu produkcji - systemy elektryczne niskiego napięcia - maszyny, dla których konsekwencje wystąpienia awarii są niegroźne, a koszty związane z ich zapobieganiem są wyższe niż koszty naprawy	- produkcja masowa - dla maszyn, gdzie konsekwencje awarii stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa, realizacji produkcji lub podwyższają koszty utrzymania ruchu - podzespoły, które mają określony profil zużywania się uwarunkowany ich wiekiem	- produkcja masowa - dla maszyn, gdzie konsekwencje awarii stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa, realizacji produkcji lub podwyższają koszty utrzymania ruchu - podzespoły, w których potencjalna awaria „sygnalizuje” swoje nadejście oraz jeżeli istnieje wystarczająco dużo czasu pomiędzy sygnałem a awarią, aby przeprowadzić konserwację lub naprawę	- produkcja masowa - dla maszyn, gdzie konsekwencje awarii stanowią zagrożenie dla bezpieczeństwa, realizacji produkcji lub podwyższają koszty utrzymania ruchu

Utrzymanie ruchu

Zalety stosowania systemów utrzymania ruchu (klasyfikacja 1) [Wal 12]

Generacja	I	II	III	
Nazwa	System napraw po powstaniu uszkodzenia	System remontów planowo-zapobiegawczych	System inspekcji zapobiegawczych	Proaktywne utrzymanie ruchu
Zalety	<ul style="list-style-type: none"> - niskie koszty oraz małe zapotrzebowanie na personel w okresie bezawaryjnej pracy maszyn i urządzeń 	<ul style="list-style-type: none"> - mniejsza częstotliwość występowania awarii w porównaniu z systemem napraw po powstaniu uszkodzenia - wydłużenie czasu eksploatacji podzespołów - efektywny kosztowo w kapitałochłonnych procesach produkcyjnych - możliwość planowania i harmonogramowania prac - kontrola nad wydatkami i budżetem - elastyczność w dostosowywaniu okresów przeglądów, remontów do planu produkcyjnego 	<ul style="list-style-type: none"> - mniejsza częstotliwość występowania awarii w porównaniu z systemem planowo-zapobiegawczym remontów - wydłużenie czasu eksploatacji części, podzespołów - zmniejszenie kosztów związanych z częściami zamiennymi i robocizną w porównaniu z systemem planowo-zapobiegawczych remontów - poprawa bezpieczeństwa pracy - poprawa morale pracowników 	<ul style="list-style-type: none"> - mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia awarii niż w systemie inspekcji zapobiegawczych - wydłużenie czasu eksploatacji części i podzespołów - zmniejszenie kosztów związanych z częściami zamiennymi i robocizną w porównaniu z systemem planowo-zapobiegawczych remontów

Utrzymanie ruchu

Wady stosowania systemów utrzymania ruchu (klasyfikacja 1) [Wal 12]

Generacja	I	II	III	
Nazwa	System napraw po powstaniu uszkodzenia	System remontów planowo-zapobiegawczych	System inspekcji zapobiegawczych	Proaktywne utrzymanie ruchu
Wady	<ul style="list-style-type: none"> - duża częstotliwość występowania awarii maszyn i urządzeń - nieefektywne wykorzystanie zasobów ludzkich - wzrost kosztów utrzymania ruchu (w wyniku rozleglejszych awarii) - dłuższy czas przywracania sprawności obiektów - brak możliwości planowania i harmonogramowania prac służb utrzymania ruchu - brak możliwości dokładnego planowania budżetu na działania służb utrzymania ruchu 	<ul style="list-style-type: none"> - nadal istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia awarii - wymaga dużego zaangażowania personelu - obejmuje wykonanie przeglądów wynikających z harmonogramu, które nie zawsze odzwierciedlają rzeczywisty stan urządzeń - niepotrzebne przeglądy - istnieje możliwość wystąpienia przypadkowych uszkodzeń elementów podczas wykonywania niepotrzebnych działań służb utrzymania ruchu 	<ul style="list-style-type: none"> - wzrost nakładów inwestycyjnych na wyposażenie diagnostyczne - wzrost nakładów na szkolenia pracowników - potencjalne oszczędności trudno dostrzegalne przez kadrę zarządzającą 	<ul style="list-style-type: none"> - wzrost nakładów inwestycyjnych na wyposażenie diagnostyczne - wzrost nakładów na szkolenia pracowników

Utrzymanie ruchu

Schemat postępowania przy określeniu strategii utrzymania ruchu poszczególnych maszyn

Tab. [Queris]		Maszyny krytyczne	Maszyny odpowiedzialne	Maszyny podrzędne
SKRÓT	ROZWIĘCIE	GRUPA A	GRUPA B	GRUPA C
ŚRO	Środowisko	Może powodować przekroczenie wymogów prawnych oraz powodować zewnątrzny wpływ na środowisko	Może powodować przekroczenie wymogów prawnych oraz powodować wewnętrzny wpływ na środowisko	Nie ma wpływu na środowisko lub nie powoduje przekroczenia żadnych wymogów
BHP	BHP	Może powodować zagrożenie bezpieczeństwa włączając w to śmierć lub trwale kalectwo	Może powodować zagrożenie bezpieczeństwa włączając w to czasową niezdolność do pracy lub choroby zawodowe	Może powodować niewielkie zagrożenie bezpieczeństwa włączając w to incydenty niewyłączające pracowników z pracy
JAK	Jakość	Może powodować zmiany jakości zauważalne przez klienta	Może powodować zmiany jakości powodujące odrzućenie partii lub znaczącej części towaru	Może powodować nieznaczące zmiany jakości łatwe do wychwycenia przez kadre produkcyjną lub nie mające wpływu na ocenę produktu przez klienta
OBP	Obciążenie pracą	24 godziny / dobę	8-24 godzin / dobę	Do 8 godzin / dobę
WPN	Wpływ na produkcję	Awarie powodują zatrzymanie linii lub znaczące straty produkcyjne	Awarie tylko czasami powodują zatrzymanie linii lub znaczące straty	Awarie nie powodują znaczących strat lub zatrzymania linii
AWR	Awaryjność	Awarie występują częściej niż raz w miesiącu	Awarie występują rzadziej niż raz w miesiącu, ale częściej niż raz na pół roku	Awarie występują rzadziej niż raz na pół roku
OBS	Obsługiwalność	Średni czas naprawy trwa dłużej niż 4 godziny	Średni czas naprawy trwa od 1 do 4 godzin	Średni czas naprawy trwa krócej niż 1 godzinę

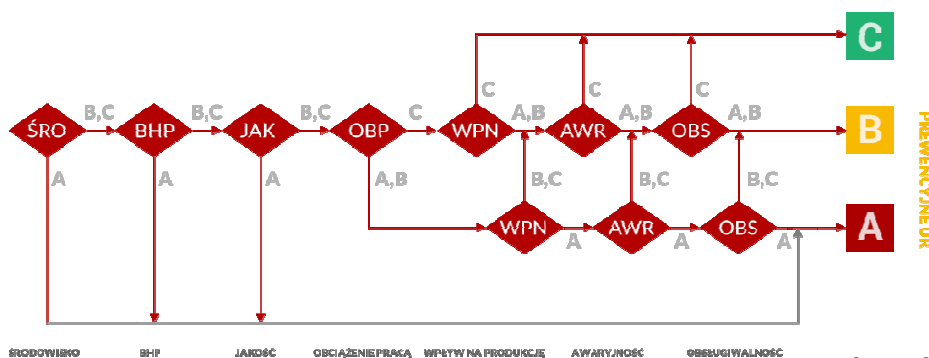
Utrzymanie ruchu

Schemat postępowania przy określeniu strategii utrzymania ruchu poszczególnych maszyn

Maszyny podrzędne **C** – strategia reaktywna (obsługa awaryjna)

Maszyny odpowiedzialne **B** – strategia prewencyjna (konserwacja profilaktyczna)

Maszyny krytyczne **A** – strategia prognostyczna (proaktywna)



Rys. [Queris]

Utrzymanie ruchu

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **obsługa awaryjna (breakdown maintenance – BM),**
- **konserwacja profilaktyczna (preventive maintenance – PM),**
- **konserwacja prognozowana (predictive maintenance – PdM),**
- **konserwacja korekcyjna (corrective maintenance – CM),**
- **zapobieganie konserwacji (maintenance prevention – MP),**
- **utrzymanie ruchu zorientowane na niezawodność (reliability centered maintenance – RCM),**
- **konserwacja produktywna (productive maintenance – PrM),**
- **skomputeryzowane systemy zarządzania konserwacją maszyn i urządzeń (computerized maintenance management systems – CMMS),**
- **całościowe utrzymanie ruchu zorientowane na produktywność (total productive maintenance – TPM),**
- **5S,**
- **i inne.**

Utrzymanie ruchu - **Strategia reaktywna**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **obsługa awaryjna (breakdown maintenance – BM).**

Podejście to zakłada brak obsługi eksploatacyjnej i było powszechnie stosowane w przedsiębiorstwach produkcyjnych przed 1950 r. U jego podstaw leży założenie, że eksploatację kontynuuje się aż do wymiany zużytego urządzenia, jego remontu lub naprawy w następstwie wystąpienia awarii, czy też wyraźnego obniżenia wydajności. Jest to rozwiązanie charakterystyczne dla pierwszej generacji systemów utrzymania ruchu [Wal 12].

Po 2 wojnie światowej nastąpił szybki rozwój przemysłu. Konkurencja na rynku była duża, a więc przestoje musiały zostać ograniczone. Wzrost kosztów siły roboczej ukierunkował produkcję na automatyzację. Maszyny stały się bardziej skomplikowane, lżejsze i wydajniejsze, ale za to bardziej awaryjne. To doprowadziło do powstania innej strategii utrzymania ruchu – **strategii prewencyjnej** (preventive maintenance – PM) i opracowania wannowej krzywej intensywności uszkodzeń [Pin_31]

Utrzymanie ruchu - Strategia prewencyjna

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

○ **konserwacja profilaktyczna (preventive maintenance – PM).**

Podejście to zaczęto stosować około 1951 r. i zaliczane jest do drugiej generacji. W PM podejmowanie działań związanych z utrzymaniem ruchu odbywa się cyklicznie, w ustalonych wcześniej momentach. Oznacza to przyjęcie założenia, że problemy z wyposażeniem występują w określonych interwałach (czasowych lub też ilości wykonanej pracy). Realizowane działania mają zapobiegać wystąpieniu awarii oraz wydłużyć ekonomiczny czas życia posiadanego wyposażenia. W ich ramach przeprowadza się: smarowanie, czyszczenie, wymianę części, regulację i kontrolę luzów. Można wyróżnić *cztery* podstawowe formy prowadzenia konserwacji profilaktycznej:

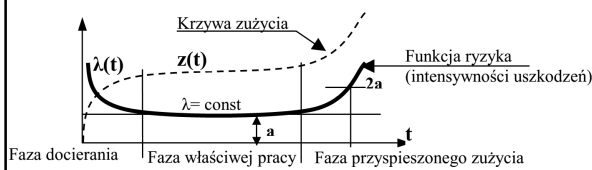
- **okresowa** – prowadzona w określonych stałych odstępach czasu,
- **resursowa** – realizowana po wykonaniu przez urządzenie określonej ilości pracy,
- **według możliwości** – wykonywana, gdy są spełnione określone warunki organizacyjno-ekonomiczne, np. jest zapewniony dostęp do urządzenia z uwagi na okresową przerwę w pracy,
- **uwarunkowana stanem** – moment obsługi określany jest na podstawie przeprowadzanych okresowo kontroli stanu urządzenia lub jego szczególnie narażonych na zużycie elementów [Wal 12].

Utrzymanie ruchu - Strategia prewencyjna

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu:

○ **konserwacja profilaktyczna (preventive maintenance – PM).**

Krzywa intensywności uszkodzeń

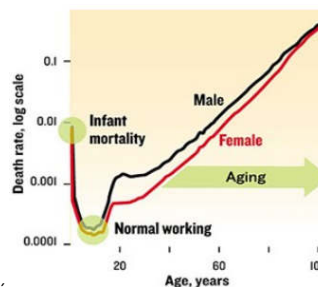


Rys. Krzywa wannowa intensywności uszkodzeń urządzeń technicznych [Bro_33]

Okres I (dostosowania) – duża ilość uszkodzeń spowodowana jest głównie wadami materiałowymi, produkcyjnymi, montażowymi, transportowymi i instalacyjnymi w miejscu docelowym. Zapobieganie: kontrola jakości, przegląd zerowy.

Okres II (pracy właściwej) – najdłuższy okres eksploatacyjny, w którym intensywność uszkodzeń jest najniższa. Charakter występowania uszkodzeń jest najczęściej losowy i gwałtowny. Zapobieganie: strategia prewencyjna i proaktywna.

Okres III (przyspieszonego zużycia) – większość komponentów urządzenia jest znacznie zużyta, co skutkuje to częstym występowaniem uszkodzeń. W przypadku mechanizmów zwiększony luz w parach kinematycznych skutkuje przyspieszonym zużyciem. Zapobieganie: brak. Rozwiązanie: bilans – czy naprawa główna jest opłacalna?



Rys. Krzywa śmiertelności kobiet i mężczyzn w USA w 1999 r. podobna jest do krzywych uszkodzeń maszyn [Leo 13]

Utrzymanie ruchu - **Strategia prewencyjna**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu:

- **konserwacja profilaktyczna (preventive maintenance – PM).**

Krzywa intensywności uszkodzeń

Nie wszystkie maszyny i ich komponenty zużywają się według krzywej wannowej. Intensywność uszkodzeń nie zawsze związana jest z wiekiem obiektów. Do takich wniosków w latach 60 ubiegłego wieku doszli specjaliści badający statki powietrzne z United Airlines. Analizie zostały poddane niekonstrukcyjne podzespoły samolotów. Wyniki tych badań były podstawą, na której powstało **utrzymanie ruchu zorientowane na niezawodność (reliability centered maintenance – RCM)** [Pin_31, And_34].

Drugim czynnikiem sprzyjającym poszukiwaniu doskonalszej strategii utrzymania ruchu, a więc **prognostycznej**, są założenia konserwacji ресурсowej i okresowej. Generalnie producenci urządzeń przy ustalaniu okresów międzyremontowych zakładają, że 2 % urządzeń może ulec awarii [B&K 84]. A więc większość jest sprawna, a mimo to podlega remontowi.

Utrzymanie ruchu - **Strategia prognostyczna (proaktywna)**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **konserwacja prognozowana (predictive maintenance– PdM).**

Jest ona określana mianem konserwacji w oparciu o stan (sprawność) danego obiektu (generacja III). Informacji o aktualnym stanie maszyny dostarczają pomiary przede wszystkim takich wielkości fizycznych, jak: temperatura, hałas, wibracje, a także informacje o parametrach pracy układów smarowania (ciśnienie, skład chemiczny płynów) i o stopniu zaawansowania korozji. Przekroczenie przez któryś z monitorowanych parametrów wartości granicznych jest podstawą do uruchomienia działań związanych z konserwacją i naprawami [Wal 12].

Utrzymanie ruchu - **Strategia prognostyczna (proaktywna)**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **konserwacja korekcyjna (corrective maintenance– CM).**

Podejście to stosowane jest od 1957 r. (generacja III). Zakłada się w nim odejście od koncentrowania się na obsłudze eksploatacyjnej na rzecz zapobiegania występowania problemów z wyposażeniem poprzez jego modyfikacje. Kolejne modyfikacje wyposażenia mają na celu podniesienie jego niezawodności. W ramach CM, oprócz niezawodności, poprawia się również bezpieczeństwo pracy oraz poszukuje rozwiązań uproszczających czynności obsługi konserwacyjnej danego obiektu. Poprawę uzyskuje się, stosując zmiany w projekcie wyposażenia lub zastosowanych przez jego producenta materiałach. Stanem idealnym jest wyposażenie bezobsługowe i bezawaryjne [Wal 12].

Utrzymanie ruchu - **Strategia prognostyczna (proaktywna)**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **zapobieganie konserwacji (maintenance prevention– MP).**

Podejście to zaczęto stosować w 1960 r. (generacja III). Odnosi się ono głównie do działań producentów wyposażenia. W jego myśl wyposażenie powinno być tak projektowane, aby nie wymagało zabiegów konserwacyjnych, a mimo to w okresie użytkowania właściwie realizowało swoje funkcje. W MP uwaga jest również zwrócona w kierunku wygody pracy, a więc uproszczenia przezbrojeń, regulacji oraz innych czynności związanych z codzienną obsługą danego obiektu. Aby osiągnąć powodzenie w stosowaniu tej strategii, niezbędne jest systematyczne pozyskiwanie informacji dotyczących awarii lub innego rodzaju problemów z wyposażeniem dostarczanych przez producenta, które ujawniły się u klientów. Na tej podstawie doskonalili się konstrukcję kolejnych modeli maszyn i urządzeń [Wal 12].

Utrzymanie ruchu - **Strategia prognostyczna (proaktywna)**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **utrzymanie ruchu zorientowane na niezawodność (reliability centered maintenance – RCM).**

Podejście to zostało opracowane na przełomie lat 70. i 80. XX w. (generacja III). Zakłada ono konieczność określenia „niezbędnych działań utrzymania w sprawności eksploatacyjnej urządzenia lub maszyny z uwzględnieniem warunków jego użytkowania”. A zatem, aby w sposób prawidłowy określić konieczne działania, związane z utrzymaniem ruchu danego obiektu, niezbędne jest poznanie, jaki wpływ na ten obiekt mają warunki, w jakich jest użytkowany, czyli: realizowany proces, poziom obciążenia pracą, jego stan techniczny oraz zdarzenia z historii eksploatacji. Tworzony z wykorzystaniem RCM plan prac w ramach systemu utrzymania ruchu jest mniej rozbudowany w porównaniu z rozwiązaniami II generacji. Eliminacji ulegają działania rutynowe, często wykonywane w nadmiarze, a pracownicy mogą skupić się na czynnościach, które rzeczywiście są niezbędne [Wal 12].

Utrzymanie ruchu - **Strategia prognostyczna (proaktywna)**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **skomputeryzowane systemy zarządzania konserwacją maszyn i urządzeń (computerized maintenance management systems– CMMS).**

Systemy komputerowe pełnią rolę wspomagającą pracę służb utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie. Ich podstawową funkcją jest dostarczanie informacji odnośnie: poziomu wykorzystania potencjału służb utrzymania ruchu, zapasach części zamiennych, harmonogramach przeglądów, a także historii obsługi poszczególnych obiektów. Możliwość automatycznego tworzenia raportów oraz dostarczanie informacji dotyczących aktualnego oraz przewidywanego stanu poszczególnych obiektów nie tylko usprawnia pracę służb utrzymania ruchu, ale również planowanie produkcji [Wal 12].

Utrzymanie ruchu - **Strategia prognostyczna (proaktywna)**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Wal 12]:

- **całościowe utrzymanie ruchu zorientowane na produktywność (total productive maintenance– TPM).**

TPM powstało w 1971 r. w Japonii (generacja III). Jest kompleksowym programem służącym doskonaleniu procesów w organizacji, powstałym w wyniku rozwijania wcześniejszych podejść w zakresie konserwacji wyposażenia produkcyjnego. Funkcjonuje w dwóch płaszczyznach: materialnej, kładąc nacisk na techniczną stronę konserwacji urządzeń, oraz ludzkiej, gdzie służy rozwijaniu umiejętności personelu i kształtowaniu kultury w zakresie obsługi i konserwacji wyposażenia. Właśnie ten drugi aspekt wdrożenia TPM jest bardzo istotny. Operator danego stanowiska musi posiadać świadomość, że zmienia się jego rola i oprócz realizacji dotychczasowych czynności jego zadaniem jest także czyszczenie powierzonego mu urządzenia, smarowanie go i wykonywanie drobnych napraw i regulacji [Wal 12].

Utrzymanie ruchu - **Strategia prognostyczna (proaktywna)**

Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Baltic]:

- **5S.**

Określenie dla zintegrowanej metody służącej efektywnej organizacji miejsca pracy. Nazwa 5S pochodzi od pięciu japońskich słów będących jednocześnie kolejnymi etapami 5 S:

1. SEIRI (selekcja) – pozbywanie się zbędnych rzeczy z miejsca pracy, które ma wpłynąć na lepsze wykorzystanie powierzchni roboczej, zapobieganie zgubieniu przedmiotów oraz redukcję kosztów i ułatwienie pracy;
2. SEITON (organizacja) – uporządkowanie miejsca pracy, którego celem jest poprawa bezpieczeństwa pracy, skrócenie czasu poszukiwania potrzebnych rzeczy, a tym samym poprawa jakości pracy;
3. SEISO (czystość) – czyszczenie wszystkiego w miejscu pracy, co wpływa na utrzymanie oraz poprawę efektywności maszyn i urządzeń oraz zwiększenie komfortu w miejscu pracy;

Utrzymanie ruchu - Strategia prognostyczna (proaktywna)

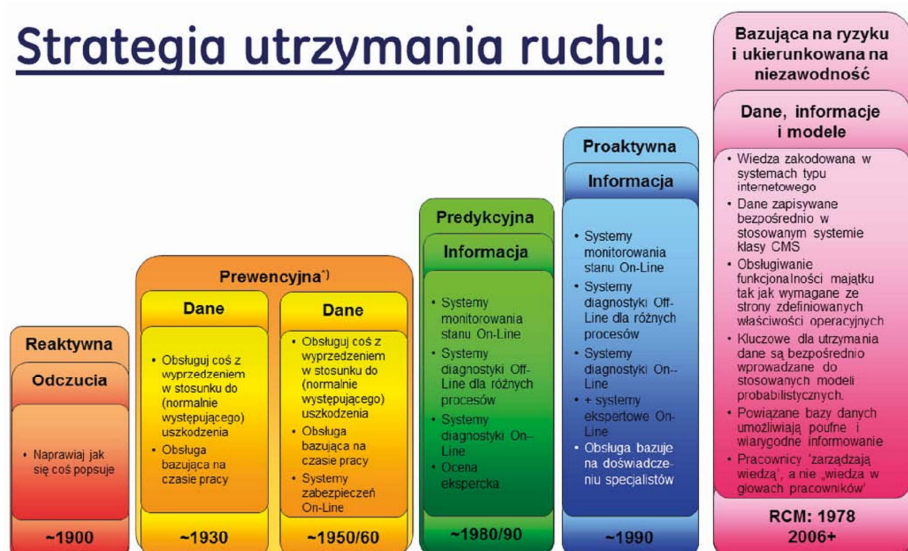
Wybrane podejścia stosowane w różnych systemach utrzymania ruchu [Baltic]:

- 5S.
- 4. SEIKETSU (standaryzacja) – stworzenie i utrzymanie formalnych standardów miejsca pracy (tablica 5 S, wizualizacje, listy kontrolne), które wpływają na poprawę warunków materialnego środowiska pracy oraz eliminację przyczyn wypadków, a tym samym zwiększają poziom bezpieczeństwa i samopoczucia pracowników;
- 5. SHITSUKE (samodyscyplina) – dyscyplina w utrzymywaniu pierwszych 4 S poprzez system audytów, które pomagają wychwycić odchylenie od określonego standardu.

Utrzymanie ruchu

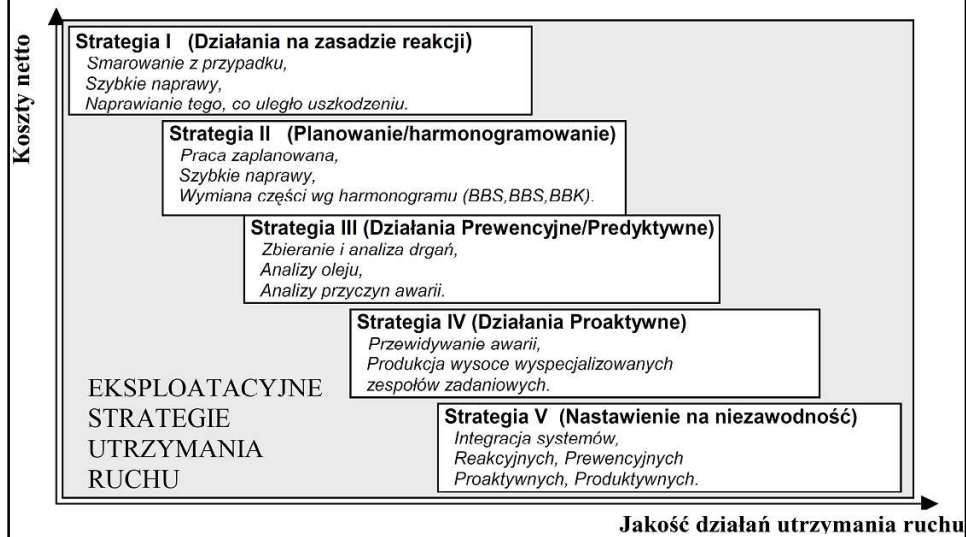
Systemy (strategie) utrzymania ruchu (klasyfikacja 2) [Now 13]

Strategia utrzymania ruchu:



Utrzymanie ruchu

Systemy (strategie) utrzymania ruchu (klasyfikacja 2) [Mid 12]



Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Diagnostyka techniczna jest narzędziem (elementem składowym) utrzymania ruchu.

Diagnostyka (gr. diagnōstikós – umiejący rozpoznawać, rozpoznawany), jest to dziedzina wiedzy o rozpoznawaniu stanów dowolnego systemu, w chwilach: obecnej, przeszłej i przyszłej [Niż 02].

Diagnostyka techniczna:

- Określanie stanu technicznego jakiegoś urządzenia (np. samochodu) i lokalizacja ewentualnych usterek za pomocą odpowiedniej aparatury, **bez rozbierania** jego zespołów [SJP 04].
- To nauka zajmująca się oceną stanu urządzeń mechanicznych przez **badania bezpośrednie** ich własności i **badania pośrednie** procesów towarzyszących funkcjonowaniu tych urządzeń, tzn. procesów resztkowych [Zie 77].

Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

cd.

Diagnostyka techniczna:

- Jest działem nauki o pomiarach, zajmującym się opracowaniem metod i aparatów, za pomocą których określa się ukryte parametry mechanizmu na podstawie parametrów jego zewnętrznych procesów. Diagnostyką techniczną nazywany jest także proces badania mechanizmu w celu określenia jego stanu [Paw 75].
- To zorganizowany zbiór metod i środków do oceny stanu technicznego (jego przyczyn, ewolucji i konsekwencji) systemów technicznych [Żół 11].

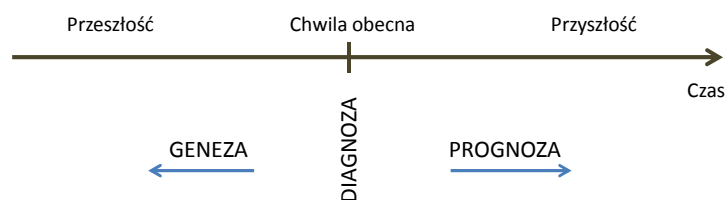
Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Główne cele diagnostyki technicznej

Diagnostowanie – określenie stanu technicznego w chwili obecnej.

Prognozowanie – określenie czasu w jakim stan techniczny nie ulegnie wyraźnemu pogorszeniu.

Genezowanie – ustalenie przyczyn bieżącego stanu technicznego obiektu lub określenie stanu obiektu w przeszłości (np. samochodu przed kolizją).



Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Sposób postępowania przy tworzeniu systemu diagnostycznego:

1. Wybór obiektu i przedmiotu diagnostyki (powinno to być ekonomicznie lub moralnie uzasadnione np. ochrona środowiska).
2. Tworzenie urządzenia diagnostycznego:
 - wybór metody diagnostycznej - zjawiska powiązanego ze stanem technicznym, mierzonej wielkości fizycznej, miejsc pomiarowych, typów czujników, itp.,
 - przeprowadzenie badań w celu opracowania modelu i algorytmu diagnostycznego,
 - w zależności od istniejącego wyposażenia zakup gotowego lub wytworzenie zaprojektowanego sprzętu (hardware'u) oraz zakup gotowego lub zaprojektowanego programu diagnostycznego (software'u).
3. Wdrożenie systemu diagnostycznego, na które składa się:
 - testowanie urządzenia i oprogramowania,
 - opracowanie dokumentacji programów i procedur diagnostycznych,
 - szkolenie personelu.

Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Model diagnostyczny

Ustalone zależności występujące między wynikami badań a stanem technicznym można określić jako **model diagnostyczny**. W praktyce najczęściej poszukuje się zależności między parametrami sygnałów a parametrami stanu. Przydatny model diagnostyczny charakteryzuje się:

- odpowiednią czułością – zmiana stanu technicznego wywołuje wyraźną zmianę w wynikach badań,
- równoważnością – danemu stanowi technicznemu odpowiadają tylko niepowtarzające się wartości wyników badań,
- odpornością na zakłócenia – w ramach przyjętych warunków pracy równoważność musi być zachowana.

Algorytm diagnostyczny

Jest to procedura postępowania, która na bazie opracowanego modelu umożliwia określenie stanu obiektu. Precyzuje jakiego rozmiaru sygnały należy rejestrować, z jaką rozdzielczością, jak często należy przeprowadzać badanie stanu, określa ile stanów jest rozróżnianych i kryteria przynależności do danego stanu, itp.

Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Rodzaje badań eksperymentalnych wykonywanych w celu ustalenia modelu diagnostycznego i testowania algorytmu diagnostycznego

Eksperyment bierny

Badania przeprowadzane są bez demontażu obiektu, a więc informacja o stanie technicznym jest niepewna. Rejestracja wyników z badań wymaga długiego okresu czasu. Do zalet należy zaliczyć mały koszt i brak przestojów urządzenia, a do wad natomiast uzyskanie niejednoznacznych danych, które nie są wystarczające do opracowania dokładnego modelu diagnostycznego.

Eksperyment bierno-czynny

W tym przypadku znany jest dokładnie przynajmniej jeden stan obiektu. Jednak znacznym ułatwieniem przy budowaniu modelu jest rejestracja wyników dla przynajmniej dwóch stanów np. przed naprawą i po remoncie lub po zakupie urządzenia i przed remontem. Jest to najbardziej popularny eksperyment stosowany w praktyce przemysłowej.

Eksperyment czynny

Polega on na wymuszeniu określonego stanu technicznego poprzez montaż części w różnym stanie lub poprzez regulację, a następnie rejestracji wyników badań. W głównej mierze dotyczy to badań na stanowiskach laboratoryjnych. W przypadku prawidłowo przygotowanego eksperymentu uzyskuje się najpełniejszą informację o obiekcie. Koszty są jednak największe.

Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Podział systemów diagnostycznych ze względu na sposób wykonywania pomiarów

Obchodowy system diagnostyczny

Pomiary wykonywane są przyrządami przenośnymi jak mierniki drgań czy kamery termowizyjne. Systemy te mają zastosowanie w sytuacji, kiedy nie ma potrzeby stałego nadzoru maszyn. Ich zaletą jest niższy koszt niż w przypadku systemów do ciągłego monitorowania.

Ciągły system diagnostyczny

Elementy pomiarowe montowane są na stałe do urządzeń. Umożliwia to ciągłą kontrolę stanu technicznego. Stosowane są głównie do urządzeń krytycznych np. turbina i generator w elektrowni oraz w przypadku ograniczonego dostępu do urządzenia (np. ze względu na brak miejsca, szkodliwe środowisko). System ten wymaga mniejszej obsługi, co przekłada się na oszczędności kadrowe.

Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Fazy badań diagnostycznych:

1. *Badanie stanu technicznego*

Jeśli wykryto uszkodzenie realizowany jest punkt 2.

2. *Określenie uszkodzenia*

Ustalenie które części uległy uszkodzeniu, typu uszkodzenia i jego wielkości. Możliwość i dokładność diagnozy uzależniona jest od typu i wielkości uszkodzenia, zastosowanej metody diagnostycznej, dostępu do urządzenia, jego budowy i stopnia skomplikowania.

3. *Analiza przyczyn powstania uszkodzenia w celu wydłużenia czasu pracy i poprawy niezawodności*

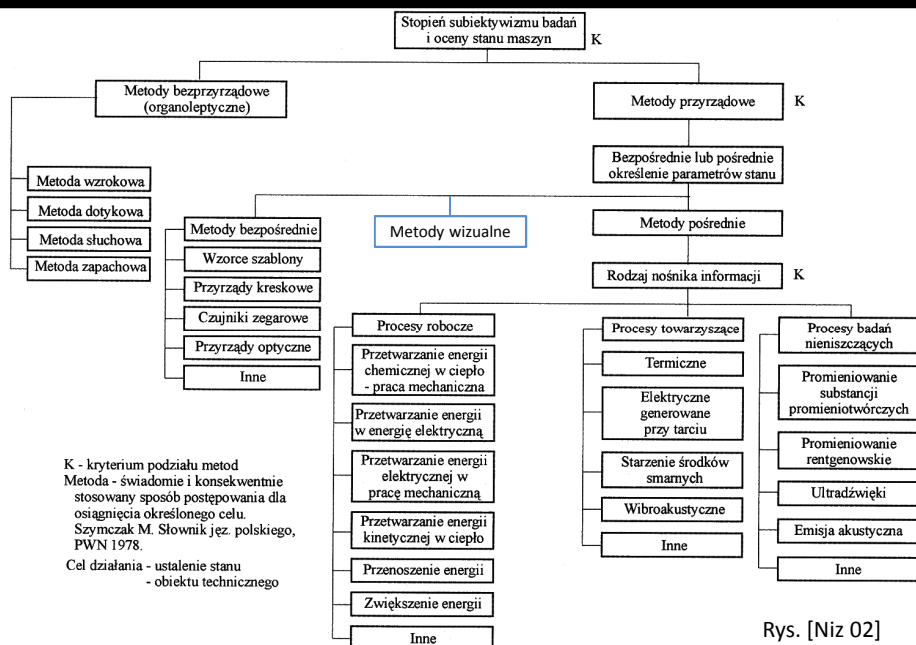
Oprócz oczywistego powodu, jakim jest naturalne zużycie, urządzenia i mechanizmy bardzo często ulegają przedwczesnemu uszkodzeniu z powodu:

- błędów montażowych (np. nieosiowości wałów, niewyważenia, błędnego montażu łożysk),
- złych warunków pracy (obciążenie, prędkość obrotowa, agresywne środowisko, niewłaściwe smarowanie, itp.)
- błędów konstrukcyjnych.

4. *Sprawdzenie*

Po wykonanej naprawie należy wykonać ponownie badanie stanu technicznego w celu oceny jakości pracy. Weryfikuje się czy uszkodzenie zostało usunięte i czy nie zostało wprowadzone nowe.

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej



Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody bezprzyrządowe – organoleptyczne

Najstarsze metody diagnostyczne, początki diagnostyki, ciągle używane (głównie maszyny o prostym układzie kinematycznym i mało odpowiedzialne), wspomagają również diagnozę opartą na przyrządach.

Wykorzystywane zmysły:



Wzrok – ocena geometrii części, koloru, struktury powierzchni, trajektorii ruchu, itp.



Słuch – ocena głośności, intensywności poszczególnych tonów, struktury dźwięku i inne.



Smak – przydatne głównie w przemyśle spożywczym.



Węch – np. wykrywanie nieszczelności.



Dotyk – temperatura obiektu, struktura powierzchni, odczuwanie drgań, itp.

5 rys. [Sup]



Zmysł równowagi – w sytuacji kiedy diagnosta porusza się wraz z obiektem

Rys. [Wik]

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody bezprzyrządowe – organoleptyczne

Zalety:

Koszt, krótki czas diagnozy.

Wady:

Wymagana doświadczona kadra; tylko dla prostych i mało ważnych maszyn; subiektywne, ogólne i mało dokładne wyniki.

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody przyrządowe – wizualne

Są to badania wzrokowe za pomocą przyrządów, bez oddziaływania zewnętrznego na obiekt w całym procesie analizy.

Stosowane przykładowe narzędzia:

Lupa, endoskop, lusterka kontrolne, mikroskop.



Rys. [29]



Rys. [30]

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody przyrządowe (pomiar wielkości geometrycznych) – bezpośrednie

- o metody dotykowe - w metodach dotykowych, w trakcie pomiaru, między badanym przedmiotem a przyrządem pomiarowym występuje styk powierzchni - suwmiarki, mikrometry, przyrządy oparte na czujnikach, maszyny współrzędnościowe, itp.,

Rys. [Dlu]



- o metody optyczne - np. mikroskopy, urządzenia oparte na kamerach cyfrowych i laserach,

Rys. [Kar]



- o metody dotykowo – optyczne: w metodach optyczno-dotykowych pomiar wielkości geometrycznych wykonywany jest przyrządem optycznym a położenie przedmiotu określone jest przez dotyk [Och70].

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody przyrządowe – metody nieniszczące

Metody nieniszczące (stymulacyjne) – są to metody, które wymagają zewnętrznego oddziaływania na obiekt, w celu oceny jego spójności powierzchni lub wewnętrznej struktury.

Zalety:

- Badanie nie wpływa na właściwości obiektu. Skutki dla produkcji:
 - przeznaczenie obiektu nie jest zmieniane jeśli wyniki potwierdziły jego dobry stan techniczny (istotne przy kosztownych przedmiotach),
 - metoda może być stosowana do wszystkich wytworów, a nie tylko do próbek reprezentatywnych, ponieważ ich nie niszczy.
- Dość dokładne i wiarygodne wyniki, trudne do osiągnięcia lub nieosiągalne innymi metodami.

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody przyrządowe – metody nieniszczące

Wady:

- ocena stanu technicznego dotyczy pojedynczej części,
- część musi być nieruchoma i wymagany jest bezpośredni dostęp, często może się to wiązać z koniecznością demontażu z maszyny,
- czas potrzebny na badania?

Główne rodzaje metod nieniszczących:

- metody wizualne,
- metody magnetyczne,
- metody radiograficzne,
- metody ultradźwiękowe,

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

I. Badania interferometryczne:

- interferometria holograficzna (ang. holographic interferometry HI),
- szerokografia (ang. shearography).

II. Badania penetracyjne:

1. Związane ze szczelnością:

- próba hydrauliczna,
- próba „baniek mydlanych”,
- próba zanurzenia,
- próba „nafty i kredy”.

2. Związane z wadami powierzchniowymi:

- Metody (oparte o zjawiska) kapilarne.

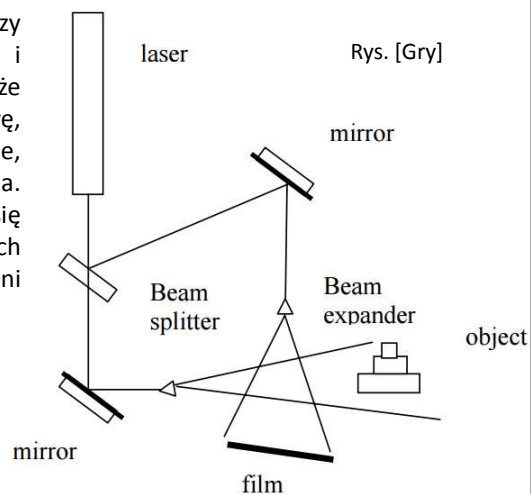
Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

I. Badania interferometryczne:

- interferometria holograficzna,

Wykonuje się dwa obrazy powierzchni: przed obciążeniem i po obciążeniu. Obciążenie może być wywołane przez temperaturę, podciśnienie lub nadciśnienie, mechanicznie albo przez drgania. W wyniku analizy uzyskuje się informacje o bardzo małych przemieszczeniach powierzchni obiektu (rzędu μm).



Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

I. Badania interferometryczne:

- interferometria holograficzna,

Obraz przypomina wykres warstwiczny. Możliwe jest wykrycie wad powierzchniowych i podpowierzchniowych, ukazanie rozkładu naprężeń i postaci drgań własnych. Różne rodzaje materiałów mogą być badane tą techniką.

Zastosowanie: przemysł lotniczy, samochodowy, kosmiczny, konserwacja zabytków.

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

I. Badania interferometryczne:

- interferometria holograficzna,

Rys. [BBC]



Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

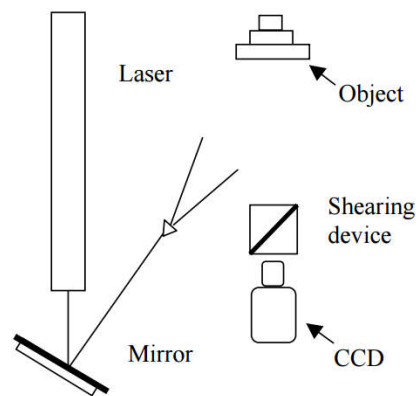
I. Badania interferometryczne

- szerokografia (ang. shearography)

Różnica między metodami:

w *interferometrii holograficznej* obraz powstaje na podstawie interferencji dwóch fal świetlnych, jedna powraca odbita od ścian obiektu a druga jest falą odniesienia o stałej fazie (patrz rysunek).

W szerokografii obraz powstaje na podstawie tylko odbitej od obiektu fali świetlnej (patrz rysunek).



Rys. [Gry]

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

I. Badania interferometryczne

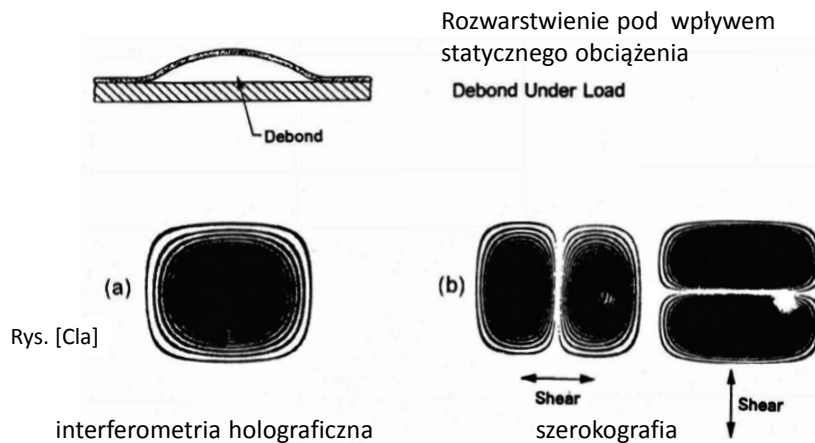
Szerokografia jest mniej wrażliwa na drgania pochodzące z otoczenia przez co jest częściej wykorzystywana w badaniach przemysłowych. Jest lepszym wyborem dla dużych obiektów. Interferometria holograficzna jest natomiast bardziej dokładna i może wykrywać defekty o mniejszej wielkości.

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

I. Badania interferometryczne

Prążki z interferometrii holograficznej są proporcjonalne do przemieszczenia, a w szerokografii związane są ze zmianą pochylenia ścianki.



Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące - wizualne

II. Badania penetracyjne:

1. Związane ze szczelnością:

- *próba hydrauliczna* (zamknięty obiekt napełniany jest cieczą do momentu uzyskania odpowiedniego ciśnienia. Odczytywana jest również temperatura, po określonym czasie sprawdza się ponownie ciśnienie i temperaturę cieczy oraz wizualnie szuka się nieszczelności na obiekcie),
- *próba „baniek mydlanych”* (w obiekcie wytwarzane jest nadciśnienie gazu, potencjalne miejsca nieszczelności pokrywane są wodą z mydłem. W miejscu nieszczelności pojawiają się bańki. Obecnie dostępne są specjalne testery szczelności (substancje) np. w sprayu),
- *próba zanurzenia* (obiekt w którym panuje nadciśnienie gazu zanurzany jest w cieczy. Nieszczelności zlokalizowane są w miejscu powstawania pęcherzyków powietrza),
- *próba „nafty i kredy”* (potencjalne miejsca nieszczelności pokrywa się wodą z kredą. Po drugiej stronie ścianki nanosi się naftę. Kreda zmienia kolor w miejscach nieszczelności). Obecnie stosuje się częściej substancje barwiące.

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące - wizualne

II. Badania penetracyjne:

1. Związane ze szczelnością:
 - próba hydrauliczna



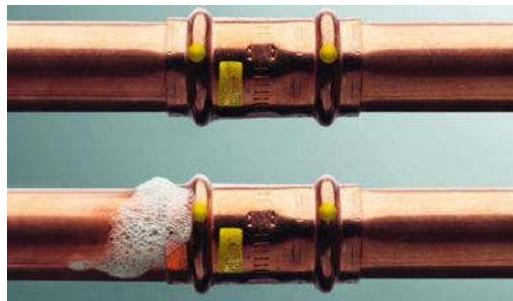
Rys. [Wikipedia]

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące - wizualne

II. Badania penetracyjne:

1. Związane ze szczelnością:
 - próba „baniek mydlanych”



Rys. [23]

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące - wizualne

II. Badania penetracyjne:

1. Związane ze szczelnością:

- próba zanurzenia



Rys. [Nus]

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

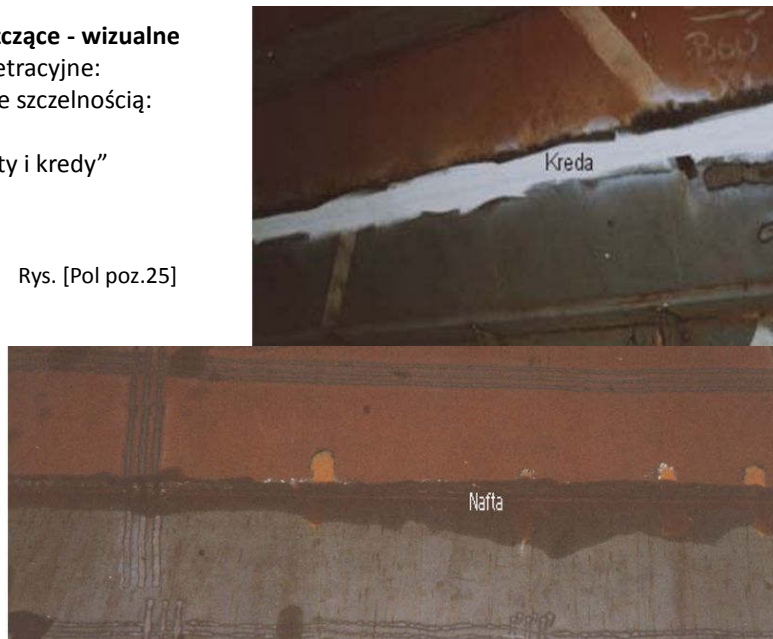
Metody nieniszczące - wizualne

II. Badania penetracyjne:

1. Związane ze szczelnością:

- próba „nafty i kredy”

Rys. [Pol poz.25]



Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

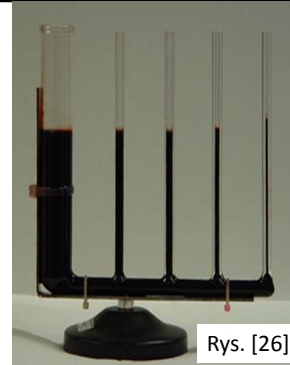
Metody nieniszczące – wizualne

II. Badania penetracyjne:

2. Związane z wadami powierzchniowymi:

- Metody (oparte o zjawiska) kapilarne.

Wykorzystywane są ciecze barwiące, które uwidaczniają wady powierzchniowe obiektu o szerokości od ok. 1 μm . Substancja wnika w wąskie szczeliny (pęknięcia) na podstawie zjawisk kapilarnych. Możliwe jest przemieszczanie się cieczy w kierunku przeciwnym do działania siły ciężkości. Penetrantem jest ciecz o dużej widoczności. Jeśli zawiera dodatki fluorescencyjne oględziny dokonywane są w świetle ultrafioletowym.



Rys. [26]



Rys. [28]

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

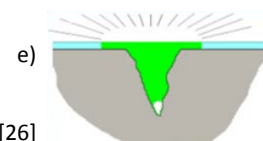
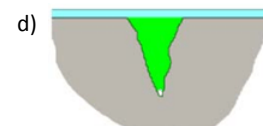
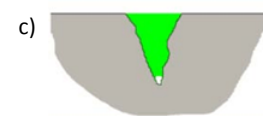
II. Badania penetracyjne:

2. Związane z wadami powierzchniowymi:

- Metody (oparte o zjawiska) kapilarne.

Typowe przygotowanie powierzchni:

- Czyszczenie i osuszanie powierzchni
- Naniesienie penetranta
- Usunięcie nadmiaru penetranta
- Naniesienie wywoływacza
- Wykrywanie wad
- Czyszczenie powierzchni po inspekcji



Rys. [26]

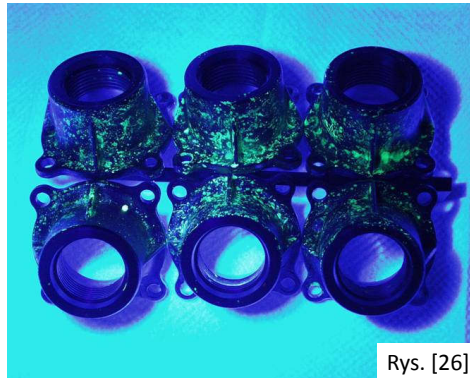
Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

II. Badania penetracyjne:

2. Związane z wadami powierzchniowymi:

- Metody (oparte o zjawiska) kapilarne.



Rys. [26]

Ograniczenia w stosowaniu metody [26]:

- o powierzchnie o dużej chropowatości z „wnękami” mogącymi gromadzić penetrant (np. przedmioty odlewane w formach piaskowych),
- o ceramika porowata,
- o drewno i inne włókniste materiały,
- o tworzywa sztuczne które pochłaniają lub wchodzą w reakcję z penetrantem,
- o powierzchnie z powłoka uniemożliwiająca przedostanie się penetranta.

Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

II. Badania penetracyjne:

2. Związane z wadami powierzchniowymi:

- Metody (oparte o zjawiska) kapilarne.

Zalety:

- o niskie koszty w odniesieniu do zakupu sprzętu jak i samych badań,
- o możliwość wykonywania badań przy użyciu stanowisk stacjonarnych i przenośnych,
- o stosunkowo prosta procedura badań i interpretacja wyników,
- o szeroki zakres materiałów, które mogą mieć skomplikowane kształty,

Wady:

- o konieczność czyszczenia materiału przed i po badaniu,
- o zanieczyszczenia maskują wady a więc czyszczenie jest bardzo ważnym etapem. Niektóre rodzaje obróbek zwłaszcza miękkich materiałów (np. szlifowanie, honowanie, piaskowanie, usuwanie zadziorów) mogą powodować roztarcie wierzchniej warstwy materiału i maskowanie pęknięcia,
- o pewne ograniczenia co do rodzaju i struktury materiału (poprzedni slajd),

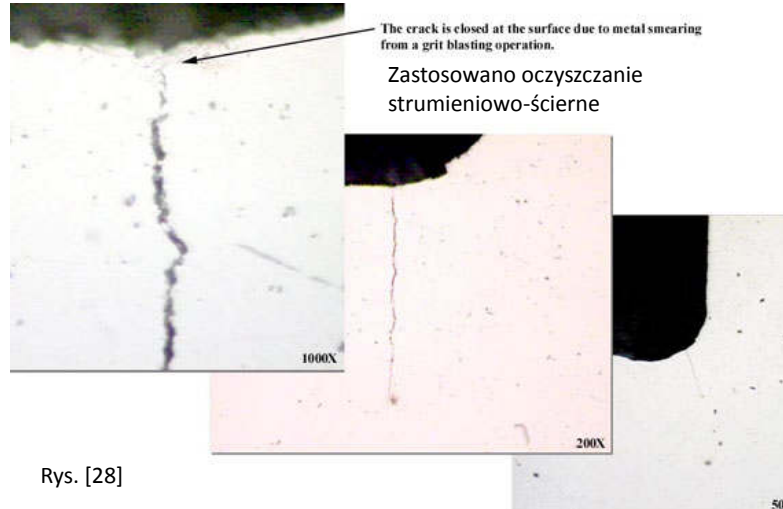
Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

II. Badania penetracyjne:

2. Związane z wadami powierzchniowymi:

- Metody (oparte o zjawiska) kapilarne.



Diagnostyka techniczna - metody diagnostyki technicznej

Metody nieniszczące – wizualne

II. Badania penetracyjne:

2. Związane z wadami powierzchniowymi:

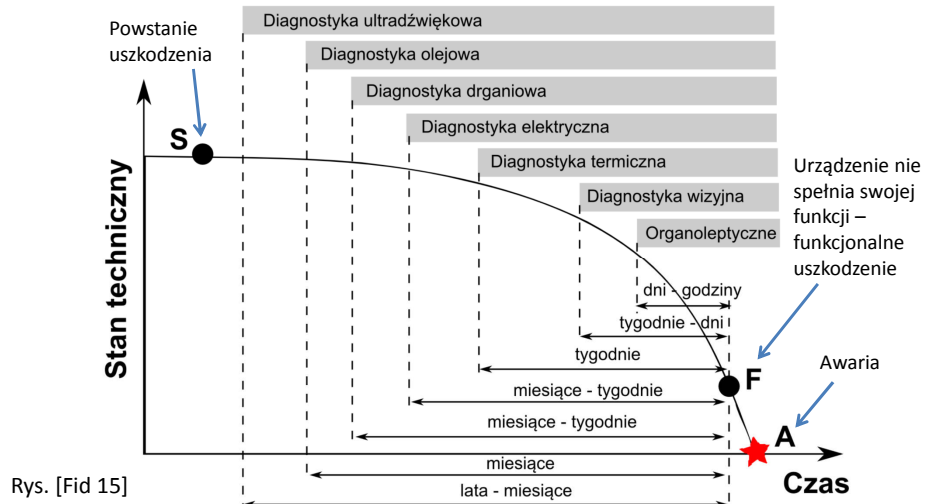
- Metody (oparte o zjawiska) kapilarne.

Oryginalna próbka Szlifowanie papierem ściernym 240 Trawienie z usunięciem warstwy 0.0003"



Diagnostyka techniczna - informacje ogólne

Możliwość wykrycia uszkodzenia metodami bezdemontażowymi w zależności od jego intensywności



Diagnostyka wibroakustyczna

Diagnostyka wibroakustyczna:

Ocena stanu obiektów technicznych na podstawie procesów wibroakustycznych.



Diagnostyka wibroakustyczna

Proces wibroakustyczny – jest to proces powstawania i rozprzestrzeniania się drgań między ciałami stałymi i płynami i vice versa.

Nazwa wibroakustyka jest połączeniem dwóch wyrazów wibor od wibracji i akustyki.

Wibracje (drgania mechaniczne) – ruch cząstek ciał stałych, całego obiektu lub jego części wokół położenia równowagi.

Akustyka* – drgania cząstek płynów (cieczy i gazów) wokół położenia równowagi w postaci fali akustycznej. Fala akustyczna - drganie cząsteczek ośrodka powodujące jego zagęszczanie i rozrzedzenie tworzące falę podłużną.

Fala akustyczna w przeciwieństwie do fali dźwiękowej nie musi być słyszana przez człowieka (szerszy zakres wartości i częstotliwości zmian ciśnienia akustycznego).

***Akustyka** jest intuicyjnie kojarzona z dźwiękami, czyli wrażeniami odbieranymi przez uszy i taki był pierwotny zakres tematyczny. Obecnie występujące definicje rozszerzyły pojęcie akustyki na infradźwięki i ultradźwięki oraz często na rozchodzenie się fal akustycznych w ciałach stałych.

Diagnostyka wibroakustyczna

Inne definicje procesu wibroakustycznego i wibroakustyki

Hebda M., Niziński S., Pelc H.:

*Proces rozprzestrzeniania się drgań w dowolnym ośrodku sprężystym można traktować jako **procesy wibroakustyczne**.*

***Drgania wibroakustyczne** są to drgania polegające na ruchu cząstek ośrodka sprężystego względem położenia równowagi.*

Łączkowski R.:

***Wibroakustyka** jest nauką o generowaniu, rozprzestrzenianiu i redukcji drgań mechanicznych, występujących w maszynach i urządzeniach.*

Diagnostyka wibroakustyczna

Podział podstawowych źródeł drgań mechanicznych w obiektach technicznych jest następujący [Niż 02]:

- aerodynamiczne, powodowane są głównie zawirowaniami, tarciami, niejednorodnością strumienia przepływającego gazu i pulsacjami,
- hydrauliczne, wynikają z przepływu cieczy (niejednorodnego rozkładu prędkości i ciśnienia) oraz procesów kawitacyjnych,
- elektromagnetyczne, spowodowane są oddziaływaniem zmiennych pól magnetycznych np. w silnikach elektrycznych,
- mechaniczne, generowane są głównie przez zderzenia w parach kinematycznych (siły impulsowe), niewyrównoważenie części i ruch elementów ze zmiennym przyspieszeniem (siły bezwładności) oraz tarcie występujące między współpracującymi elementami (siły tarcia).

Literatura

1. Cempel Cz.: *Diagnostyka wibroakustyczna Maszyn*. PWN, Warszawa 1989.
2. Fidali M. Metody diagnozowania obiektów technicznych i procesów przemysłowych. Axon Media, 2015 [dostęp 29.11.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.axonmedia.pl/konferencje/archiwalne/prezentacje/Marek%20Fidali.pdf>.
3. Legutko S.: Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn development trends in machines operation maintenance. *Eksploatacja i Niezawodność* nr2/2009, s. 8-16.
4. Midor K., Zasadzień M., Szczęśniak B.: Przegląd technologii wykorzystywanych do realizacji usług typu e-maintenance. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie* z. 63a/2012, s. 301 – 311.
5. Niziński S., Michalski R.: *Diagnostyka obiektów technicznych*. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE, Radom 2002.
6. Nowicki R.: Nadzór stanu technicznego agregatów z napędami elektrycznymi: wprowadzenie do tematyki. *Napędy i sterowanie*, nr 10/2013, s. 115 – 125.
7. Pawłow B. W.: *Diagnostyka niedomagań maszyn*. PWRiL, Warszawa 1975.
8. Uniwersalny słownik języka polskiego. PWN 2004.
9. Walczak M. System utrzymania ruchu czynnikiem przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa// *Historia i perspektywy nauk o zarządzaniu. Księga pamiątkowa dla uczczenia jubileuszu 40-lecia pracy naukowo-dydaktycznej prof. zw. dra hab. Arkadiusza Potockiego / Mikula B. [red]*. Kraków: Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 2012.
10. Ziemia S.: Rola diagnostyki technicznej. W: *Diagnostyka urządzeń mechanicznych*. Wrocław Ossolineum 1977, s. 5-8.
11. Żółtowski B.: *Podstawy diagnozowania maszyn*. Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2011.
12. Polsko-Amerykański System Medyczny-II Sp. z o.o. (sklep internetowy). Rysunek stetoskopu. [Dostęp 21.11.2015]. Dostępny w Internecie: <http://sklep.pasm.com.pl/>.
13. BalticBerg Consulting. Dostępny w Internecie: <http://balticberg.pl/>.
14. Superlinia. Rysunek zmysłów. [Dostęp 30.11.2015]. Dostępny w Internecie: http://superlinia.pl/narzady_zmyslow/
15. Wikipedia. Rysunek błędnik kostny. [Dostęp 30.11.2015]. Dostępny w Internecie: https://pl.wikipedia.org/wiki/B%C5%82%C4%99d%C5%84nik_kostny.
16. Kulik A.: Monitoring i diagnostyka maszyn i urządzeń – sposoby i wyzwania w celu utrzymania niezawodności i efektywnego UR. Trade Media International, 2013 [dostęp 28.11.2015]. Dostępny w Internecie: <http://seminaria.trademedial.us/2013/images/p-monitorowanie/Andrzej%20Kulik.pdf>.
17. Ochęduszek K.: *Koła zębate, Sprawdzanie*, t. 3. WNT, Warszawa 1970.

Literatura

18. Dluta.pl Rysunek suwmiarki. [Dostęp 1.12.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.dluta.pl/product/suwmiarka-uniwersalna-scala.html>.
19. Karcz Biuro Handlowe. Rysunek mikroskopu pomiarowego. [Dostęp 1.12.2015]. <http://bhkarcz.pl/mitutoyo/mikroskopy-pomiarowe/>
20. J. Gryzagoridis, D. M. Findeis. OPTICAL NON DESTRUCTIVE TESTING METHODS USING CONTINUOUS WAVE, PULSED OR DIODE TYPE LASERS. [Dostęp 3.12.2015]. Dostępny w Internecie: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.200.3200&rep=rep1&type=pdf>.
21. BBC. Rysunek gitary. [Dostęp 3.12.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-13573631>.
22. F. Clarady and M. Summers: Electronic holography and shearography NDE for inspection of modern materials and structures. [Dostęp 4.12.2015]. Dostępny w Internecie: <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1286&context=qndc>.
23. Allegro. Rysunek szczelności rury. [Dostęp 4.12.2015]. Dostępny w Internecie: <http://archiwum.allegro.pl/oferta/tester-szczelnosci-instalacji-gazowej-581-i4173666144.html>.
24. NuStar Technologies. Rysunek próba zanurzeniowa. [Dostęp 5.12.2015]. Dostępny w Internecie: http://www.nustar-tech.com/S_Testing_Assembly.html.
25. Politechnika Gdańska. Rysunek nafta i kreda. [Dostęp 5.12.2015]. Dostępny w Internecie: <https://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEWj4tL9ssTJAhUG1RQKHfptCQIQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.pg.gda.pl%2Fmech%2Fkim%2FPrezentacje%2FZiEBadNieniszcz.ppt&usq=AFQjCNFLrFZ-kDgsu5SP5yz2iofkqh-rtg>.
26. Collaboration for NDT Education. [Dostęp 5.12.2015]. Dostępny w Internecie: https://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEWjrw-ucjMXJAhVM7hoKHeMHAbMQFggeMAA&url=http%3A%2F%2Fmech.vub.ac.be%2Fteaching%2Finfo%2FDamage_testing_prevention_and_detection_in_aeronautics%2FIntro_to_Penetrant.ppt&usq=AFQjCNG_chUC4ZtlzqvQaAVw9Z1UJT9T6g&bvm=bv.108538919,d.ZWU&cad=rja.
27. Rysunek korbówód. [Dostęp 5.12.2015]. Dostępny w Internecie: https://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEWj8gqWsnCXJAhVLvxQKHcqcA1sQFggBMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.nded.org%2FGeneralResources%2FIntroToNDT%2FIntro_to_NDT.ppt&usq=AFQjCNFhk-MkGwoqP73e5C1snvqUPUmC9Q&bvm=bv.108538919,d.ZWU&cad=rja.

Literatura

28. NDT Resource Center. [Dostęp 5.12.2015]. Dostępny w Internecie: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/PenetrantTest/MethodsTech/materialsmear.htm>.
29. Majsterkownia.pl. Rysunek wideoskopu. [Dostęp 5.12.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.majsterkownia.pl/product-pol-658-Wideoskop-Endoskop-8-8-mm-Draper.html>.
30. TME. Rysunek zestawu lusterek. [Dostęp 5.12.2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.tme.eu/pl/details/nb-mirrors01/narzedzia-inspekcyjne-pozostale/newbrand/>.
31. Pinaki Roy. Essence of maint the root cause approach. <http://www.slideshare.net/pinaki50/essence-of-maint-the-root-cause-approach-30481024>.
32. Bronisław Słowiński. Broneks.net. http://www.broneks.net/wp-content/uploads/2007/11/22_Utrzymanie_ruchu_maszyn.pdf.
33. Leonid Gavrilov: Biodemography of mortality and longevity. 2013. <http://slideplayer.com/slide/8256465/>.
34. Andrzejczak Michał (red.), Anthony M. Smith i Glenn R. Hinchcliffe: Zwodnicza krzywa wannowa. Inżynieria & Utrzymanie Ruchu. <http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artukul/article/zwodnicza-krzywa-wannowa/part/3/abp/821/>.
35. Bruel&Kjaer: Monitorowanie stanu maszyn. 1984.
36. Queris. Producent oprogramowania dla przemysłu. [Dostęp 17.02.2017]. Dostępny w Internecie: <http://www.queris.pl/baza-wiedzy/strategie-eksploatacji-maszyn/>.
37. Habda M., Niziński S., Pelc H.: Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych. WKiŁ, Warszawa 1980.
38. Łączkowski R.: Wibroakustyka maszyn i urządzeń. WNT, Warszawa 1983.