

PODSTAWY EKSPLOATACJI MASZYN

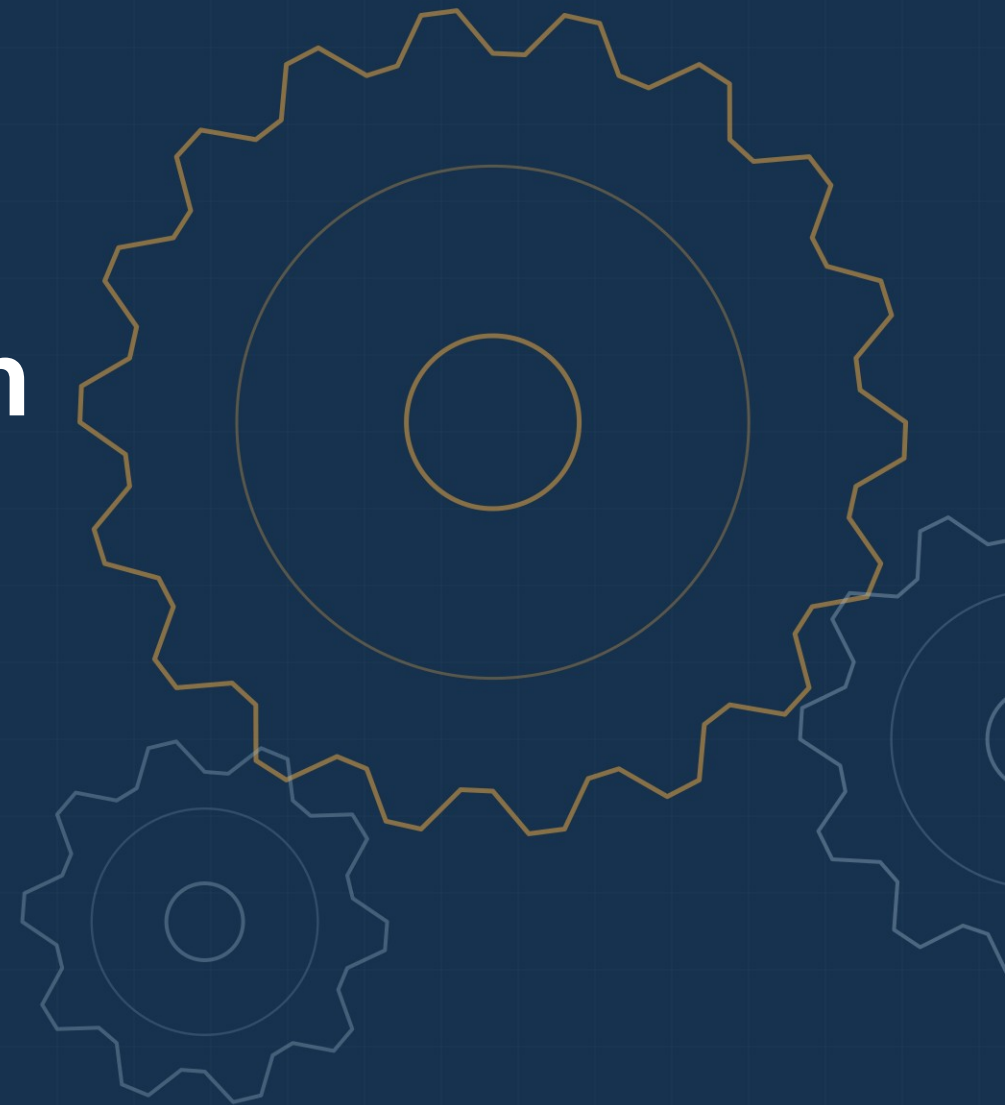
Wykład 6

Elementy diagnostyki maszyn

dr inż. Radosław Gościński

Akademia Techniczno-Artystyczna Nauk Stosowanych w Warszawie

Wykład opracowany na podstawie książki „Inżynieria eksploatacji maszyn” Bronisława Słowińskiego



Plan wykładów

W1

Wprowadzenie do problematyki eksploatacji

W2

Działanie ze środkami technicznymi

W3

Systemowe ujęcie eksploatacji

W4

Utrzymanie ruchu maszyn

W5

Trwałość i zużycie maszyn

W6

Elementy diagnostyki maszyn

W7

Podstawy badań eksploatacyjnych

W8

Elementy teorii niezawodności

W9

Prognostowanie niezawodności

W10

Metody poprawy niezawodności

W11

Procesy obsługi technicznej

Dzisiaj: W6. Elementy diagnostyki maszyn

01

Diagnostyka techniczna i jej rodzaje

Cele, miejsce stosowania i formy działań diagnostycznych



Diagnostyka – rozpoznanie stanu rzeczy

Termin „**diagnostyka**” pochodzi z j. greckiego, gdzie diagnosis – oznacza rozpoznanie, rozróżnianie, osądzanie. Współcześnie diagnostyka to „uznana już dziedzina wiedzy, która zajmuje się rozpoznawaniem badanego stanu rzeczy przez zaliczenie go do znanego typu lub gatunku, przez przyczynowe i celowe wyjaśnienie tego stanu rzeczy, określenie jego fazy obecnej oraz przewidywanego dalszego rozwoju”.

Diagnostyka techniczna w ostatnich latach podlega burzliwemu rozwojowi. Nowym impulsem stymulującym rozwój tej dyscypliny było zintegrowanie wysiłków dwóch grup naukowców, których punkty startowe były znacząco od siebie różne. Jedna z tych grup, związana z diagnostyką wspartą modelowo, wywodzi się z dziedziny automatyki i robotyki. Druga z grup ma swoje korzenie w dziedzinie budowa i eksploatacja maszyn.



KLUCZOWA MYŚL

Dwa źródła współczesnej diagnostyki: **diagnostyka wsparta modelowo** (automatyka i robotyka) oraz **budowa i eksploatacja maszyn**.

Diagnozowanie techniczne

Diagnozowanie techniczne – jest to proces mający na celu określenie aktualnego (w momencie pomiaru) stanu technicznego urządzenia, czyli o jego sprawności lub niesprawności, stopniu zużycia podzespołów, wielkości uszkodzeń itp. Konkretyzując ten proces, są to takie działania jak:

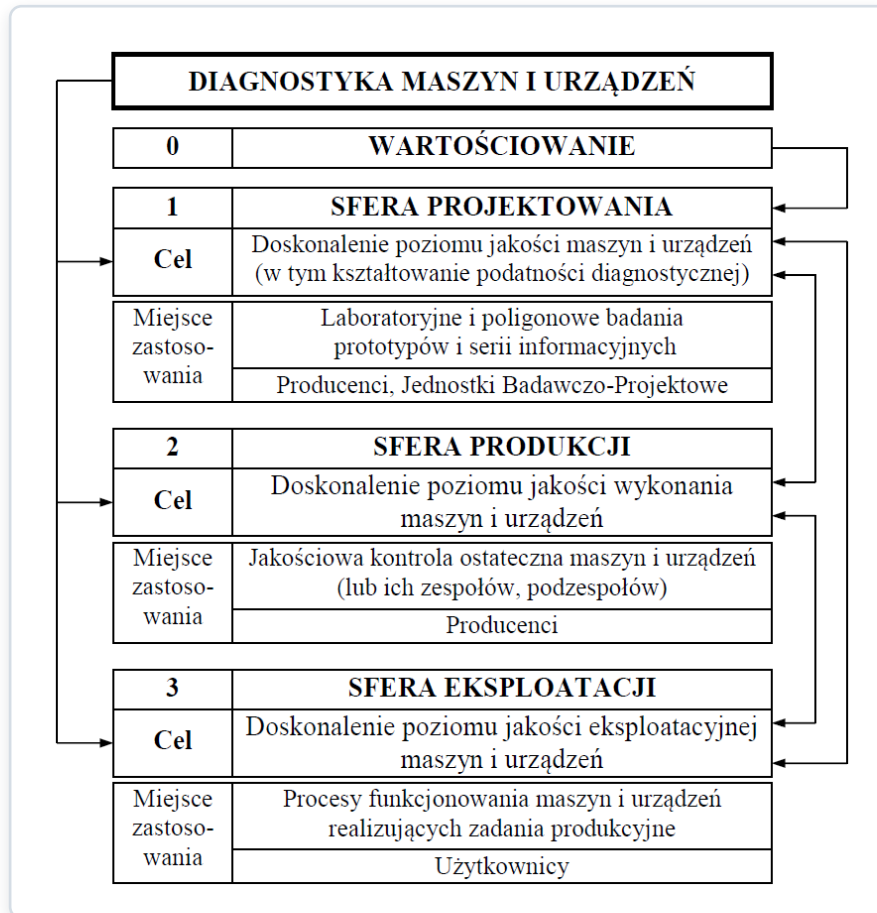
- badanie, identyfikacja i klasyfikacja rozwijających się uszkodzeń oraz ich symptomów (symptom to objaw – czynna cecha sygnału diagnostycznego, odwzorowująca określony typ uszkodzenia),
- opracowanie metod i środków do badania i selekcji symptomów,
- wypracowanie decyzji diagnostycznych o stanie obiektu (na podstawie symptomów), i wynikających z niego możliwości wykorzystywania lub rodzaju i zakresie koniecznych czynności profilaktycznych.



KLUCZOWA MYŚL

Symptom – czynna cecha sygnału diagnostycznego, odwzorowująca określony typ uszkodzenia.

Cele i miejsce stosowania diagnostyki



Podstawowe cele stosowania diagnostyki maszyn i urządzeń oraz miejsce jej stosowania

Cele diagnostyki obejmują **cały okres istnienia** maszyny:

- **sfera projektowania** – kształtowanie podatności diagnostycznej, badania prototypów,
- **sfera produkcji** – kontrola jakości wykonania,
- **sfera eksploatacji** – doskonalenie jakości eksploatacyjnej; miejsce stosowania: użytkownicy.

Rodzaje diagnostyki technicznej i jej zadania



Na każdym etapie istnienia obiektu występują działania diagnostyczne o różnym charakterze – stąd **cztery rodzaje diagnostyki**.

Formy działań diagnostyki eksploatacyjnej

Diagnostyka maszyn w fazie eksploatacji określana jest jako diagnostyka eksploatacyjna. Maszyna wprowadzona do eksploatacji ma strukturę zdeterminowaną zbiorem cech techniczno-eksploatacyjnych, ulegających zmianom destrukcyjnym w procesie eksploatacji. Bieżące wartości tych cech charakteryzują jej stan techniczny i są przedmiotem badań diagnostyki eksploatacyjnej. Obejmuje ona następujące formy działań:



Diagnozowanie

rozpoznanie stanu rzeczy (lokalizacja uszkodzenia),



Dozorowanie

bieżąca obserwacja stanu zdatnej maszyny,



Genezowanie

poszukiwanie przyczyn zaistniałego uszkodzenia,



Prognozowanie

wnioskowanie o przyszłym stanie maszyny (predykcja lub projekcja)

Prognozowanie: predykcja i projekcja

Prognozowanie, które może być wynikiem:



Predykcji

czyli wnioskowania o przyszłym stanie maszyny na podstawie odpowiedniego modelu z uwzględnieniem pojawiania się w przyszłości czynników wpływających na zmianę jej stanu,



Projekcji

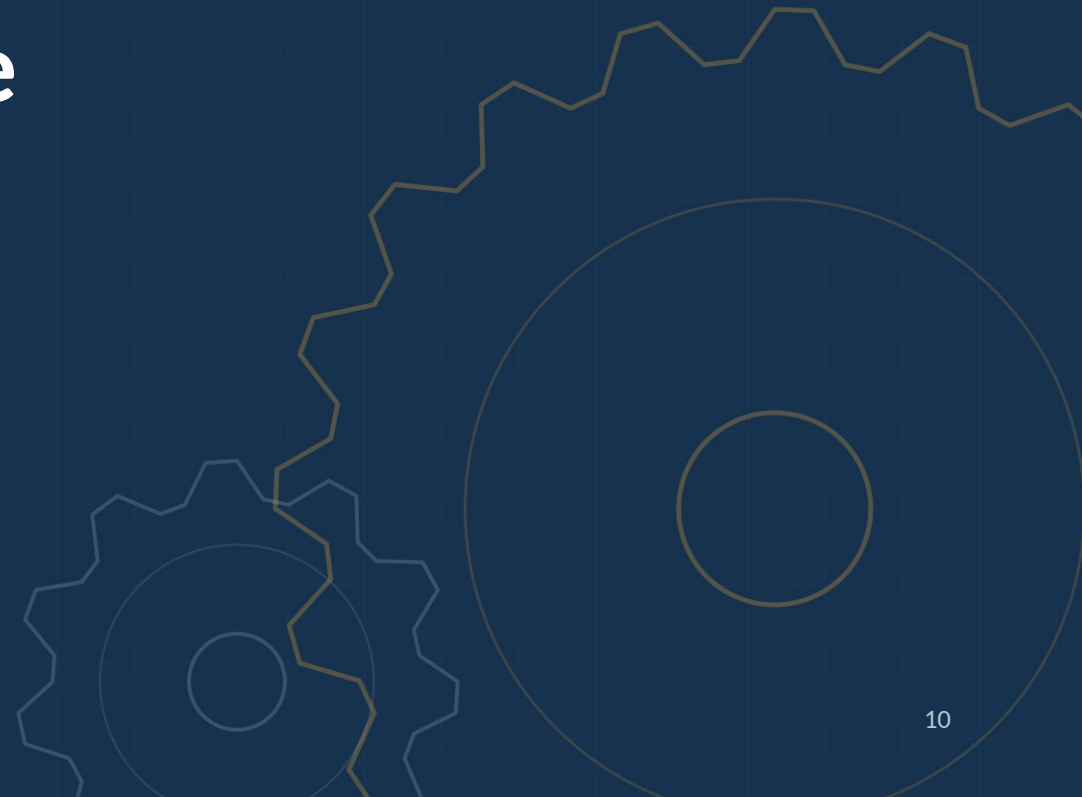
czyli wnioskowania o przyszłym stanie maszyny na podstawie odpowiedniego modelu z uwzględnieniem znanych w przeszłości trajektorii zmian jej stanu technicznego.

Efektem opracowania procesu diagnozowania dla okresu eksploatacji są zwykle odpowiednie rozdziały w instrukcjach użytkowania i obsługi, traktujące o zasadach wykorzystania diagnostyki podczas tych faz istnienia maszyny.

02

Identyfikacja stanu jako zadanie diagnostyki

Stany zdolności, parametry diagnostyczne i symptomy



Stan techniczny – po co go znać?

Urządzenia techniczne to obiekty złożone z wielu setek, a poprawniej byłoby jeszcze, z wielu tysięcy części. Przykładowo: samochód – to około 20 000 części, samolot – 4 000 000, rakieta Atlas – to 18×10^{10} . W trakcie użytkowania tych części zachodzą w nich różne procesy zużyciowe, które zmieniają początkowe (zaprojektowane) właściwości eksploatacyjne urządzenia.

Użytkownicy powinni zatem mieć możliwość oceny wielkości tych zmian, by określić stan techniczny urządzenia. Pojęcie to oznacza zbiór właściwości technicznych obiektu, które opisują wszystko to, co się dzieje z obiektem w danej chwili t. Stan ten jest skutkiem przeszłości urządzenia, a jego znajomość jest potrzebna do ustalenia zachowania się tego urządzenia obecnie i w przyszłości, czyli potrzeby podejmowania decyzji dotyczących dalszego postępowania z nim.



KLUCZOWA MYŚL

Stan techniczny jest **skutkiem przeszłości** urządzenia – jego znajomość pozwala decydować o **dalszym postępowaniu** z nim.

Zdatność i niezdatność

Stan techniczny urządzenia zmienia się nieustannie, co oznacza, że można wyróżnić nieskończenie wiele jego stanów. W praktyce nie ma potrzeby określania tych wszystkich stanów. W najprostszym przypadku celem badania może być rozróżnianie dwóch alternatywnych klas stanów: „zdatności” i „niezdatności”:



Stan zdatności

wystąpi jeżeli urządzenie poprawnie wykonuje postawione zadania,



Stan niezdatności

będzie kiedy takich zadań nie może wykonać.

Klasy te są odpowiednikami dwóch zdarzeń: „sprawności” i „niesprawności” (należy tu zaznaczyć, że pojęcia: sprawny i niesprawny opisują konkretne zdarzenia, a zdatny i niezdatny określają stany wynikające ze sprawności).

Podział na trzy stany

W teorii i praktyce eksploatacji (zwłaszcza pojazdów samochodowych) występuje też podział na trzy stany:



Zdatności

samochód jest w pełni sprawny,



Częściowej zdatności

(stan dopuszczalny chwilowo, np. funkcjonowanie 2 z 3 cylindrów silnika),



Niezdatności

(stan niedopuszczalny, np. jazda bez smarowania silnika).

Rozpoznanie tych stanów jest zatem sprawą szczególnie ważną z utilitarnego punktu widzenia. Specyfiką diagnostyki eksploatacyjnej jest jednak to, że nie może ona dokonywać bezpośrednio pomiarów stanu jakiejś części, np. odchyleń wymiarów.

Procedura postępowania diagnostycznego

Gdy maszyna jest już zmontowana nie można też dokonywać pomiaru: luzów, naprężenia sprężyn itp. Możliwe jest zidentyfikowanie tego drogą pośrednią poprzez badanie „całościowe” urządzenia (maszyny).

Maszyna ZDATNA

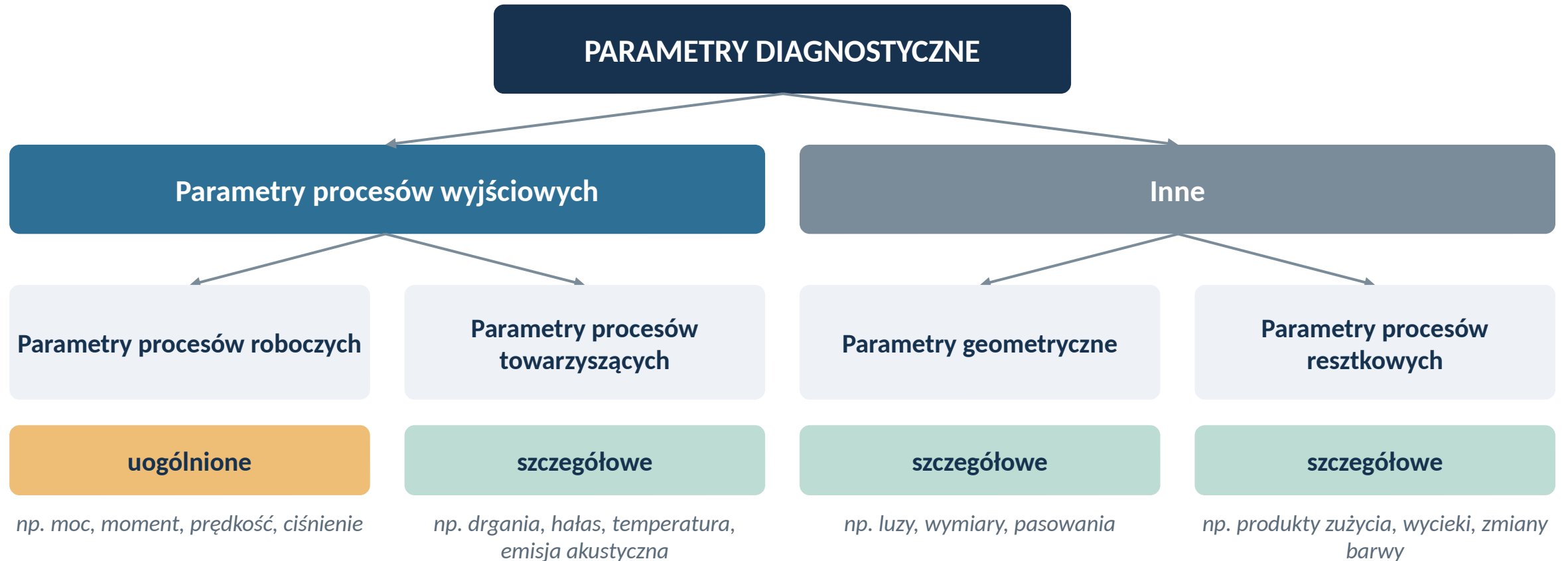


Maszyna NIEZDATNA



Przyczyny niezdatności: rozregulowanie, uszkodzenie, wykonana praca do naprawy głównej lub likwidacji.

Klasyfikacja parametrów diagnostycznych



Symptomy uszkodzenia (cechy występujące tylko w stanie uszkodzenia): np. wzrost temperatury przewodów zasilających, nadmierne drgania silnika, zmiana barwy rezystora.

Trzy źródła parametrów diagnostycznych

Parametry diagnostyczne można pozyskiwać z trzech różnych ocen:



Procesy robocze

Ocena przez obserwacje procesów roboczych, monitorując ich parametry w sposób ciągły (moc, moment, prędkość, ciśnienie);



Jakość wytworów

Ocena przez badanie jakości wytworów – zgodności wymiarów, pasowań, połączeń itp. Wychodzi się tu z założenia, że im lepszy stan techniczny maszyny, tym lepsza jakość produkcji;



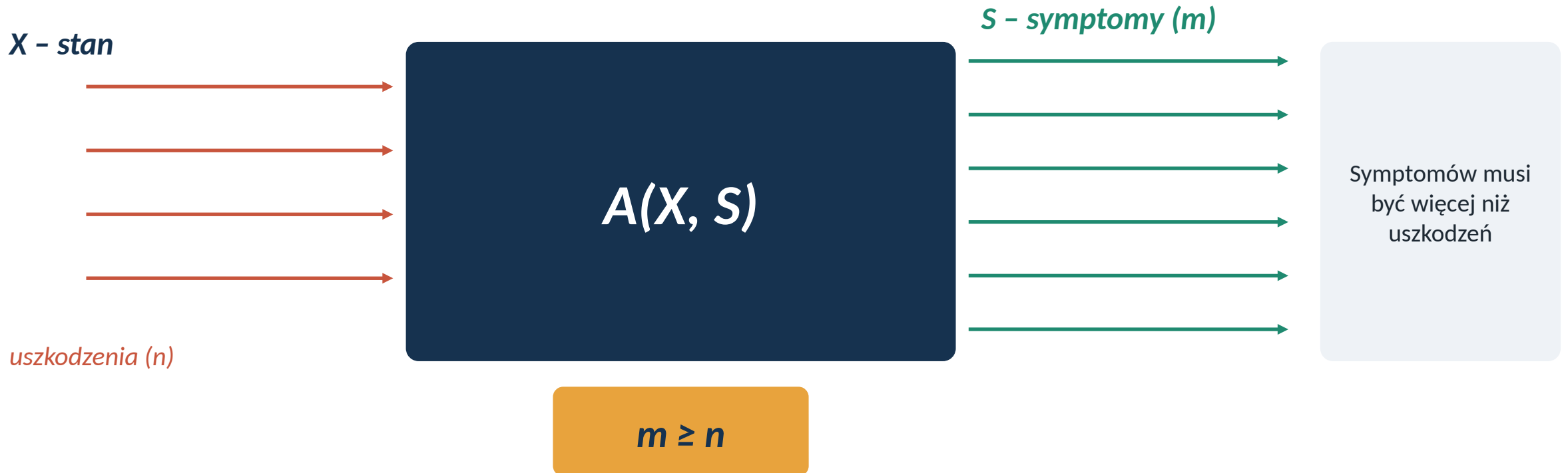
Procesy towarzyszące

Ocena przez badanie procesów towarzyszących – wykorzystująca różne symptomy fizykochemiczne, zawarte w procesach wyjściowych z funkcjonującej maszyny (drgania, hałas, emisja akustyczna itp.) i będąca źródłem wielu metod diagnozowania, np.: wibroakustyka, termowizja itp.

Obserwacja stanu maszyny X za pomocą symptomów S

Ogólne postępowanie diagnostyki eksploatacyjnej, zakładające poszukiwania związków między stanem maszyny X_n a generowanymi sygnałami diagnostycznymi, rozpoznawanymi w postaci symptomów S_m , można przedstawić, w uproszczeniu, na schemacie „czarnej skrzynki”

X – stan



Obserwacja stanu maszyny X za pomocą symptomów S

Symptomy, miary i informacja diagnostyczna

Stan maszyny w określonej chwili czasu można zatem scharakteryzować za pomocą zbioru wartości symptomów (S_m). W wielu przypadkach jest tak, że o jednym uszkodzeniu może informować wiele symptomów, np. o uszkodzeniu łożyska może świadczyć zwiększone nagrzanie się obudowy, drgania, itp. Jest to dosyć ważne, bowiem rozwiązanie zadania diagnostycznego wymaga spełnienia warunku: $m \geq n$, czyli aby symptomów było więcej niż uszkodzeń.

Zbiór symptomów S , po odpowiednim przetworzeniu, zostaje przedstawiony w postaci miar wartości lub przebiegów (intensywności) mierzonych wielkości. Na podstawie tych miar operator A sporządza informację diagnostyczną, która prezentuje sądy lub twierdzenia o stanie X maszyny. Na ogół nie dotyczą one całej maszyny, ale zwykle tylko jej określonego układu (zespołu); cała maszyna nie psuje się, tylko jej określony zespół i ten jest diagnozowany.



KLUCZOWA MYŚL

Cała maszyna się nie psuje – psuje się **określony zespół** i to on jest diagnozowany.

03

Procedury diagnozowania maszyn i urządzeń

Od sygnału do decyzji diagnostycznej

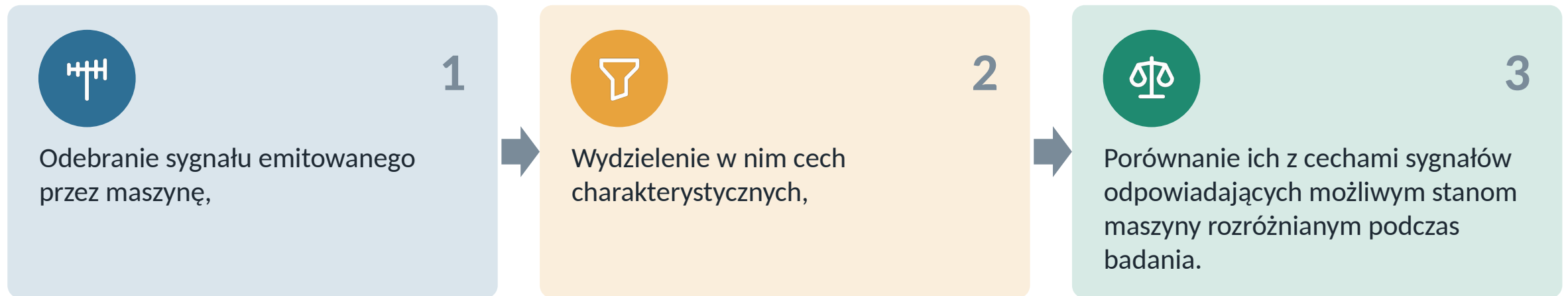


Procedura diagnostyczna – trzy czynności

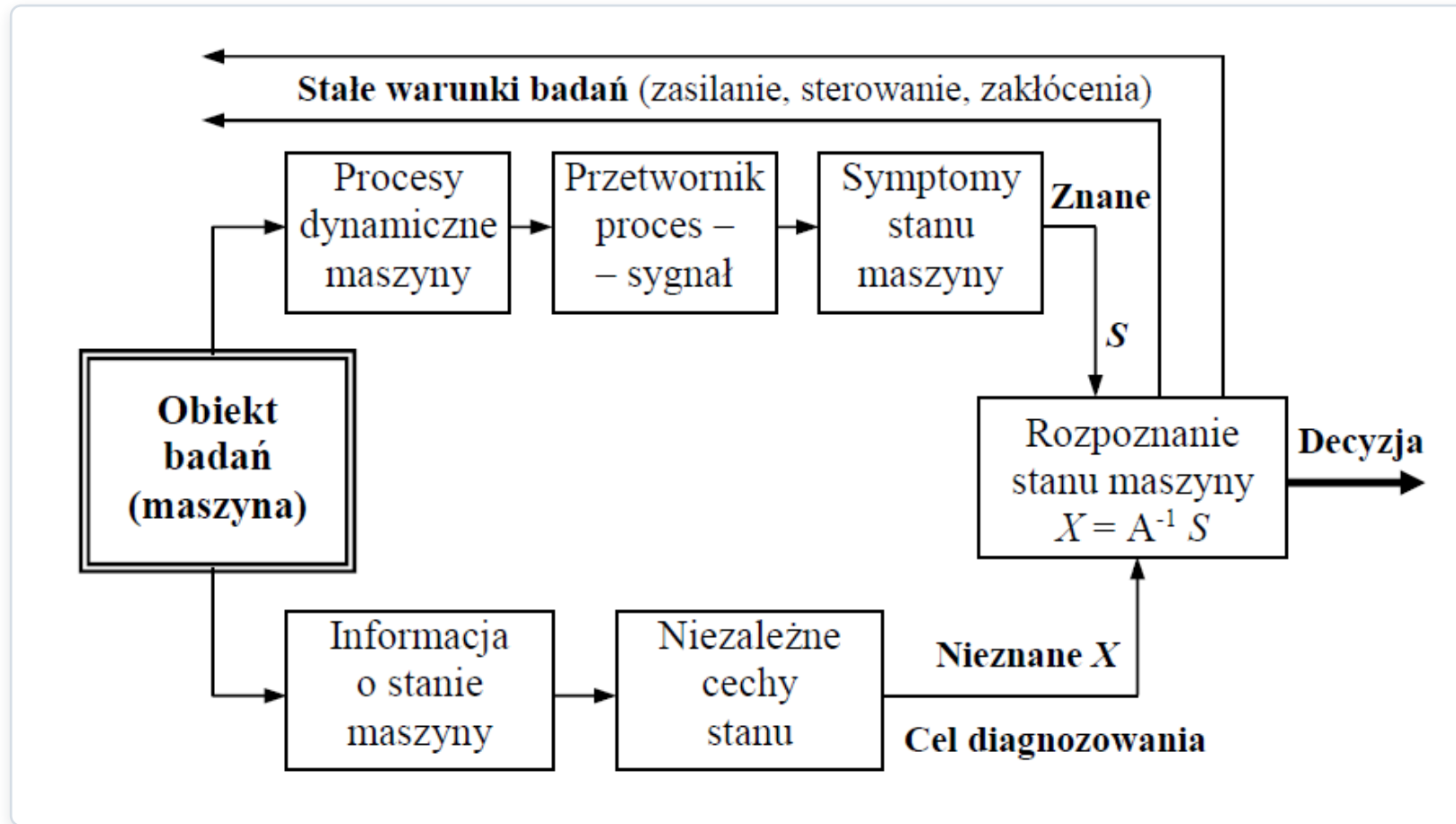
Stan techniczny można ocenić na podstawie mierzonych wartości parametrów diagnostycznych, pod warunkiem, że znane są związki pomiędzy parametrami struktury lub rozróżnianymi stanami i parametrami diagnostycznymi. Charakter tych zależności, i zawarte w nich informacje, wyznaczają procedurę postępowania podczas diagnozy.

Procedura (za normą terminologiczną ISO 9000) to określone reguły postępowania w odniesieniu do działań lub procesów, czyli jest to swoistego rodzaju przepis: co?, kto? i jak? ma robić w ramach czynności objętych procedurą.

Procedura diagnostyczna obejmuje 3 główne czynności:



Elementy procedury diagnostycznej



Elementy procedury diagnostycznej

04

Współczesna diagnostyka maszyn

Metody, normy i cyfrowe narzędzia diagnostyki stanu (uzupełnienie)



Metody diagnostyki stanu maszyn



Analiza drgań (wibrodiagnostyka)

Niewyważenie, niewspółosiowość, luzy, uszkodzenia łożysk i przekładni. Analiza widmowa (FFT), obwiednia, trendy.



Termowizja

Bezkontaktowy pomiar rozkładu temperatury: przegrzane łożyska, połączenia elektryczne, izolacja, wymienniki ciepła.



Analiza olejów (tribodiagnostyka)

Stan środka smarnego i produkty zużycia: lepkość, woda, cząstki metali (ferrografia, spektrometria).



Ultradźwięki i emisja akustyczna

Wczesne wykrywanie wad łożysk, nieszczelności sprężonego powietrza, wyładowań niezupełnych, pęknięć.



Analiza prądu silnika (MCSA)

Uszkodzenia wirnika, ekscentryczność, problemy obciążenia – pomiar w szafie zasilającej, bez dostępu do maszyny.



Badania nieniszczące (NDT)

Wizualne i endoskopowe, penetracyjne, magnetyczno-proszkowe, ultradźwiękowe, prądów wirowych – wykrywanie pęknięć.

Ocena stanu na podstawie drgań – strefy wg ISO 20816

A	maszyny nowe, właśnie uruchomione	$\leq 1,4$
B	dopuszczalne do długotrwałej pracy bez ograniczeń	1,4 – 2,8
C	niezadowalające – praca ograniczona w czasie, zaplanować działanie	2,8 – 4,5
D	zagrożenie uszkodzeniem – drgania niedopuszczalne	$> 4,5$



Miara: wartość skuteczna **prędkości drgań**

Ważny jest także **trend** – nagły wzrost w strefie B też jest sygnałem.

$v_{RMS} [mm/s]^*$

* przykład: maszyny średniej mocy na fundamencie sztywnym – wartości graniczne zależą od grupy maszyn, sprawdź w normie

Przetwarzanie danych diagnostycznych – ISO 13374

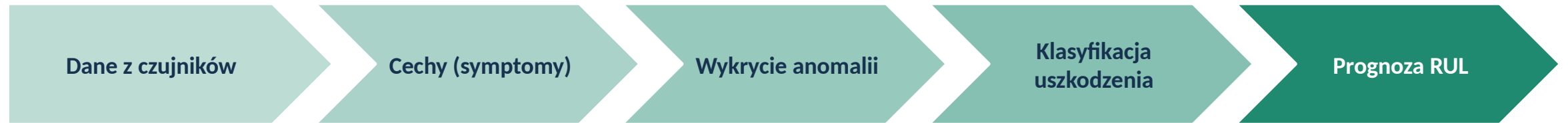


Ten sam łańcuch realizują dziś systemy monitorowania online, platformy IIoT i moduły predykcyjne systemów CMMS/EAM – od czujnika do **zlecenia obsługowego**.

Normy w diagnostyce maszyn

Norma	Zakres
ISO 17359	Monitorowanie stanu i diagnostyka maszyn – wytyczne ogólne (jak zbudować program monitorowania)
ISO 13374	Przetwarzanie, komunikacja i prezentacja danych diagnostycznych (6 bloków)
ISO 13379-1	Interpretacja danych i techniki diagnostyczne
ISO 13381-1	Prognozowanie stanu maszyn (prognostyka, RUL)
ISO 20816	Pomiary i ocena drgań maszyn – strefy A/B/C/D (zastąpiła ISO 10816)
ISO 18436	Wymagania kwalifikacyjne i certyfikacja personelu diagnostycznego
PN-EN 13306	Terminologia obsługi – obsługa według stanu i predykcyjna

Diagnostyka w erze danych – PHM i uczenie maszynowe



Podejście oparte na modelu fizycznym

model zużycia, symulacja, cyfrowy bliźniak
– wymaga wiedzy o mechanizmie uszkodzenia



Podejście oparte na danych (ML)

uczenie na historii pomiarów i awarii –
wymaga dużej ilości danych opisanych



Podejście hybrydowe

model fizyczny + korekta danymi – często
najlepsze w praktyce przemysłowej

Wyzwania: awarie są rzadkie (mało danych o uszkodzeniach), modele muszą być zrozumiałe dla służb UR, a zalecenie trzeba przełożyć na decyzję eksploatacyjną – sztuczna inteligencja **wspiera**, ale nie zastępuje wiedzy diagnosty.

Pytania kontrolne



1. Czym zajmuje się diagnostyka techniczna? Wymień cztery rodzaje diagnostyki wg faz życia maszyny.
2. Scharakteryzuj formy diagnostyki eksploatacyjnej: diagnozowanie, dozorowanie, genezowanie, prognozowanie.
3. Czym różni się predykcja od projekcji?
4. Opisz procedurę postępowania diagnostycznego dla maszyny zdatnej i niezdatnej.
5. Dlaczego musi być spełniony warunek $m \geq n$? Podaj przykłady symptomów uszkodzeń.
6. Wymień metody diagnostyki stanu i bloki przetwarzania danych wg ISO 13374. Co oznaczają strefy A–D wg ISO 20816?

Dziękuję za uwagę

Następny wykład: W7. Podstawy badań eksploatacyjnych

dr inż. Radosław Gościński

