

# METODY PROBABILISTYCZNE I STATYSTYCZNE W WYBRANYCH PROBLEMACH EKSPLOATACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

*Karol ANDRZEJCZAK*

[karol.andrzejczak@put.poznan.pl](mailto:karol.andrzejczak@put.poznan.pl)



---

**POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

---

**WIELOWYMIAROWE METODY STATYSTYCZNE W NAUKACH TECHNICZNYCH, POZNAŃ 19-10-2016**

# PLAN PREZENTACJI

1. OBSZAR PROBLEMOWY



# PLAN PREZENTACJI

**1. OBSZAR PROBLEMOWY**

**2. CEL WYKŁADU**



# PLAN PREZENTACJI

**1. OBSZAR PROBLEMOWY**

**2. CEL WYKŁADU**

**3. PROBLEMY CZĄSTKOWE**



# PLAN PREZENTACJI

**1. OBSZAR PROBLEMOWY**

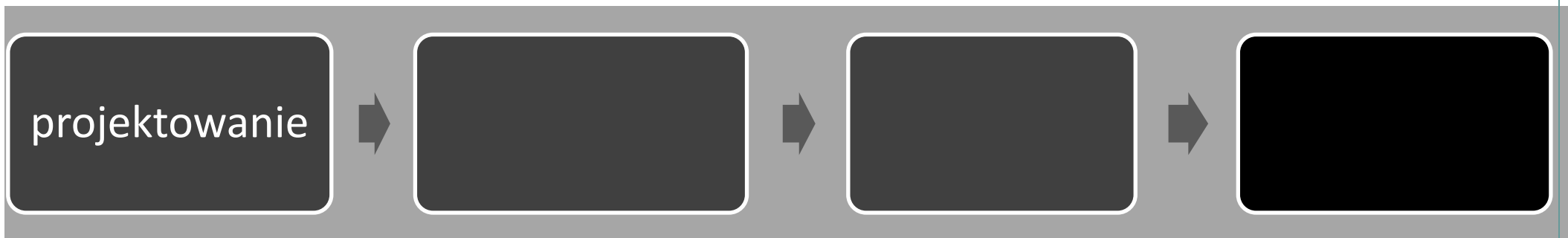
**2. CEL WYKŁADU**

**3. PROBLEMY CZĄSTKOWE**

**4. PODSUMOWANIE**

# 1. OBSZAR PROBLEMOWY

Wszelkie urządzenia i obiekty techniczne (OT) są efektem wielofazowych twórczych działań inżynierskich.



Rys. 1. Schemat podstawowych faz życia OT

# 1. OBSZAR PROBLEMOWY

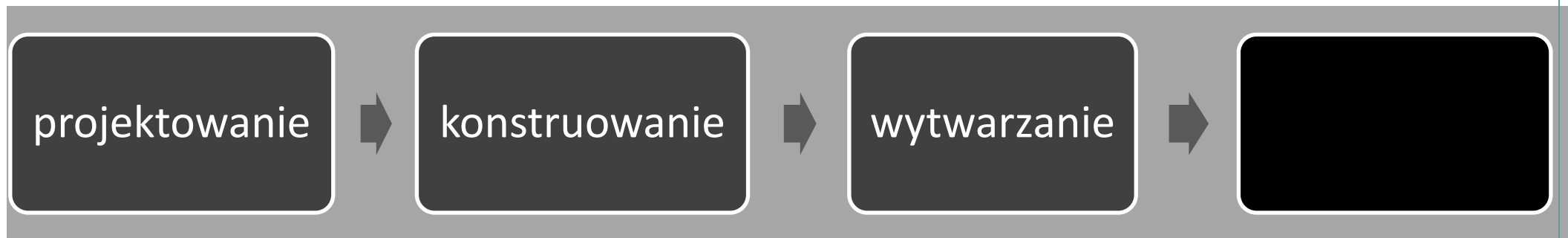
Wszelkie urządzenia i obiekty techniczne (OT) są efektem wielofazowych twórczych działań inżynierskich.



Rys. 1. Schemat podstawowych faz życia OT

# 1. OBSZAR PROBLEMOWY

Wszelkie urządzenia i obiekty techniczne (OT) są efektem wielofazowych twórczych działań inżynierskich.

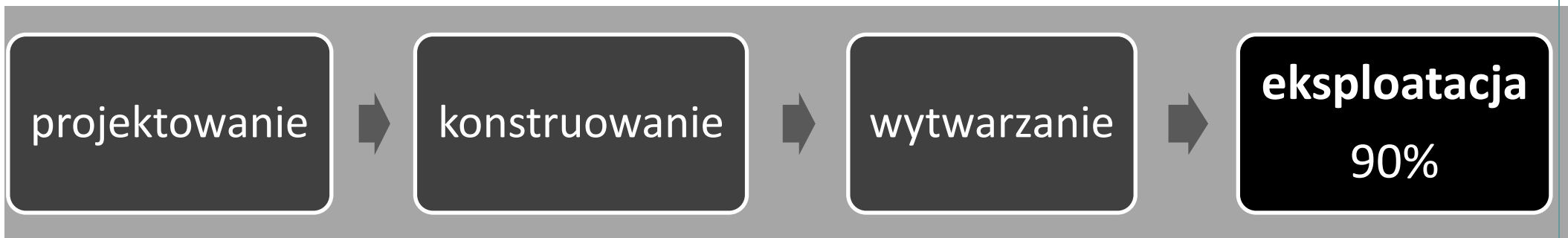


Rys. 1. Schemat podstawowych faz życia OT



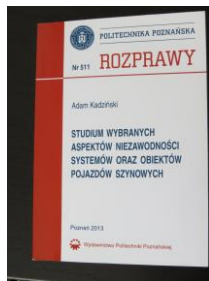
# 1. OBSZAR PROBLEMOWY

Wszelkie urządzenia i obiekty techniczne (OT) są efektem wielofazowych twórczych działań inżynierskich.



Rys. 1. Schemat podstawowych faz życia OT

**Faza eksploatacji OT jest główną fazą jego cyklu życia**



**Faza ta wyznacza zasadniczy obszar problemowy wykładu**

Współczesnym OT stawiane są coraz ostrzejsze wymagania eksploatacyjne w zakresie EEE:



E



E



E

Współczesnym OT stawiane są coraz ostrzejsze wymagania eksploatacyjne w zakresie EEE:



**E**konomia



**E**



**E**

Współczesnym OT stawiane są coraz ostrzejsze wymagania eksploatacyjne w zakresie EEE:



**E**konomia



**E**kologia



**E**

Współczesnym OT stawiane są coraz ostrzejsze wymagania eksploatacyjne w zakresie EEE:



**E**konomia



**E**kologia



**E**nergetyka

Zwiększone wymagania inicjują lub poszerzają w działalności inżynierskiej nowe zadania również w zakresie BGF:



B



G



F

Zwiększone wymagania inicjują lub poszerzają w działalności inżynierskiej nowe zadania również w zakresie BGF:



Bezpieczeństwo



G



F

Zwiększone wymagania inicjują lub poszerzają w działalności inżynierskiej nowe zadania również w zakresie BGF:



**B**ezpieczeństwo



**G**otowość



**F**



Zwiększone wymagania inicjują lub poszerzają w działalności inżynierskiej nowe zadania również w zakresie BGF:



**B**ezpieczeństwo



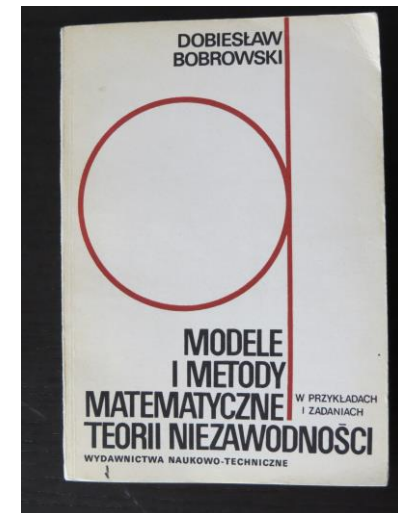
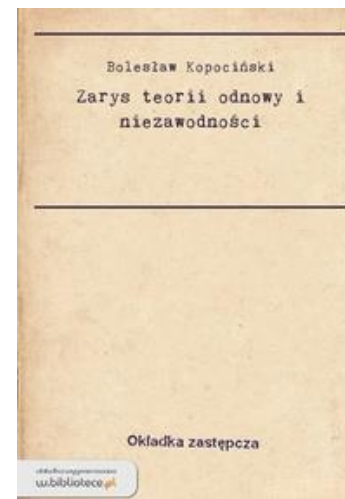
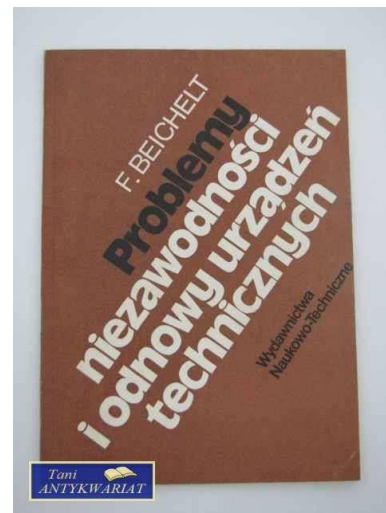
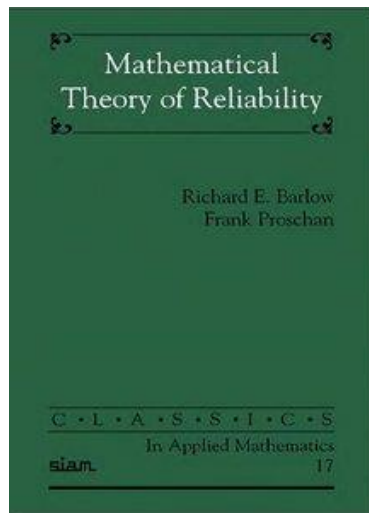
**G**otowość



**F**unkcjonalność

# UŚCIŚLONY OBSZAR PROBLEMOWY

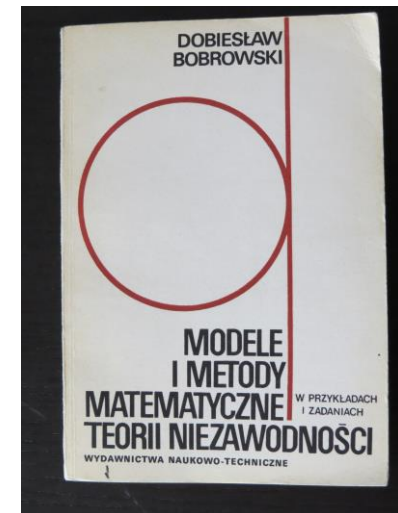
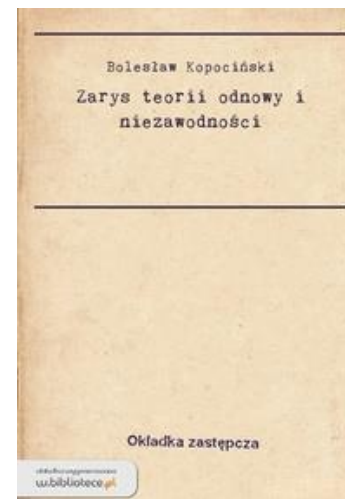
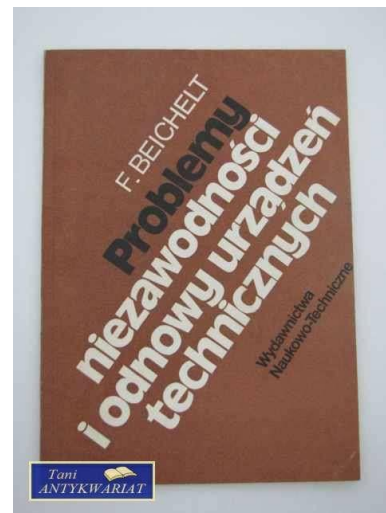
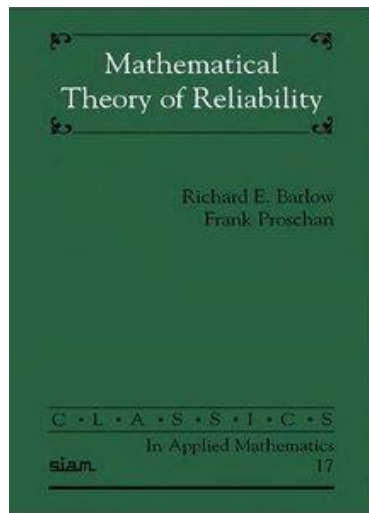
Przedstawienie wybranych metod probabilistycznych i statystycznych na potrzeby doskonalenia procesu zarządzania eksploatacją OT w zakresie BGF.



W prezentacji wykorzystano obrazy udostępnione w internecie.  
Adresy źródeł podane są na obrazach.

# UŚCISŁONY OBSZAR PROBLEMOWY

**Przedstawienie wybranych metod probabilistycznych i statystycznych na potrzeby doskonalenia procesu zarządzania eksploatacją OT w zakresie BGF.**



W prezentacji wykorzystano obrazy udostępnione w internecie.  
Adresy źródeł podane są na obrazach.

# W doskonaleniu procesu zarządzania eksploatacją OT w układzie C-M-O szczególne znaczenie mają:



badanie zachowania OT w rzeczywistej sytuacji eksploatacyjnej



W doskonaleniu procesu zarządzania eksploatacją OT w układzie C-M-O szczególne znaczenie mają:



badanie zachowania OT w rzeczywistej sytuacji eksploatacyjnej



efektywne pozyskiwanie danych charakteryzujących stan OT, otoczenie oraz operatora (sensory)



W doskonaleniu procesu zarządzania eksploatacją OT w układzie C-M-O szczególne znaczenie mają:



badanie zachowania OT w rzeczywistej sytuacji eksploatacyjnej

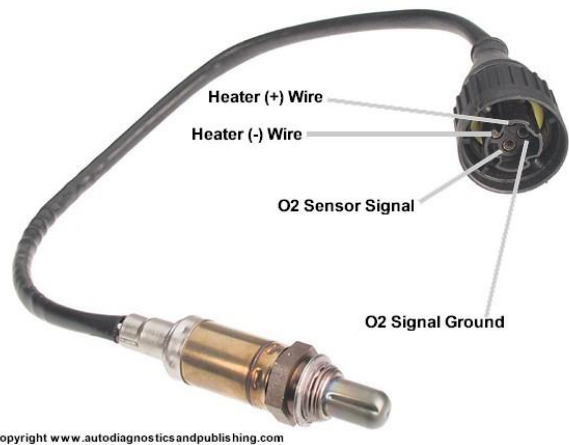


efektywne pozyskiwanie danych charakteryzujących stan OT, otoczenie oraz operatora (sensory)



przetwarzanie danych w informacje wspomagające zarządzanie obsługą OT

# Techniczne rozwiązywanie problemów – sensory

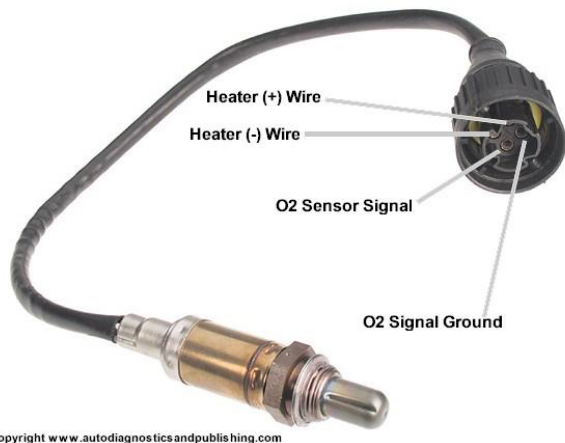


Czujnik – urządzenie dostarczające informacji o pojawieniu się określonego bodźca, przekroczeniu pewnej wartości progowej lub o wartości rejestrowanej wielkości fizycznej.



CAN – Control Area Network

# Techniczne rozwiązywanie problemów – sensory



Czujnik – urządzenie dostarczające informacji o pojawieniu się określonego bodźca, przekroczeniu pewnej wartości progowej lub o wartości rejestrowanej wielkości fizycznej.



CAN – Control Area Network

Czujniki są najczęściej elementami składowymi większego układu (magistrali komunikacyjnej CAN), którego zadaniem jest wychwytywanie, rozpoznawanie i rejestrowanie sygnałów w czasie eksploatacji OT.



Uzupełnieniem technicznych rozwiązań służących doskonaleniu procesu zarządzania eksploatacją OT są



**metody analityczne** dotyczące:

- predykcji zdarzeń niepożądanych,
- predykcji przyczyn uszkodzania ŚT,
- predykcji zagrożeń stanu zdatności.

Uzupełnieniem technicznych rozwiązań służących doskonaleniu procesu zarządzania eksploatacją OT są



**metody analityczne dotyczące:**

- **predykcji zdarzeń niepożądanych,**
- predykcji przyczyn uszkodzania OT,
- predykcji zagrożeń stanu zdatności.

Uzupełnieniem technicznych rozwiązań służących doskonaleniu procesu zarządzania eksploatacją OT są



**metody analityczne dotyczące:**

- **predykcji zdarzeń niepożądanych,**
- **predykcji przyczyn uszkodzania OT,**
- **predykcji zagrożeń stanu zdatności.**

Uzupełnieniem technicznych rozwiązań służących doskonaleniu procesu zarządzania eksploatacją OT są

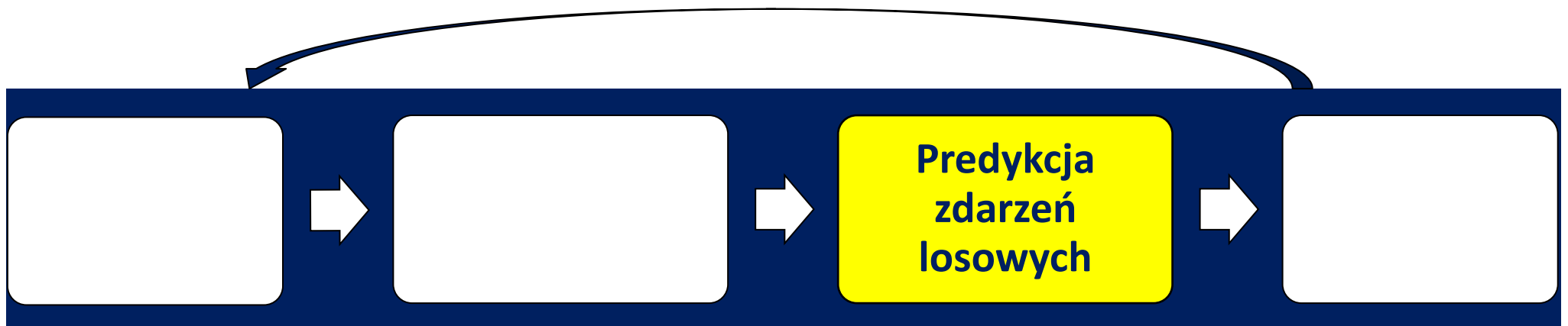


**metody analityczne dotyczące:**

- **predykcji zdarzeń niepożądanych,**
- **predykcji przyczyn uszkodzania OT,**
- **predykcji zagrożeń stanu zdatności.**

## 2. CEL WYKŁADU

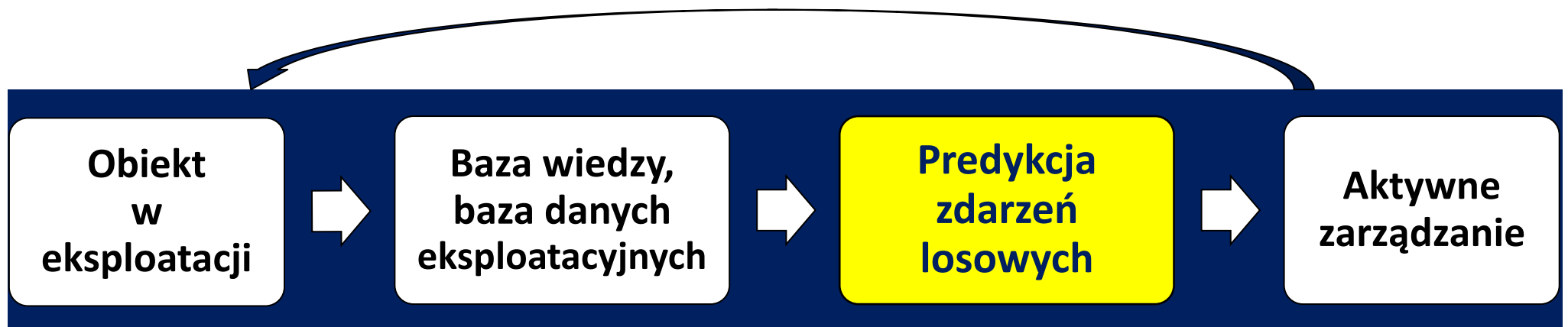
Opracowanie metod predykcji losowych zdarzeń niepożądanych, w czasie użytkowania OT w układzie C-M-O, na potrzeby aktywnego zarządzania procesem eksploatacji.



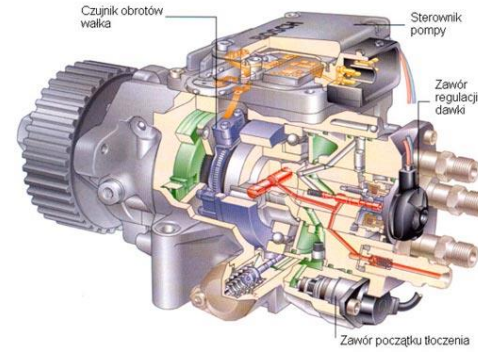
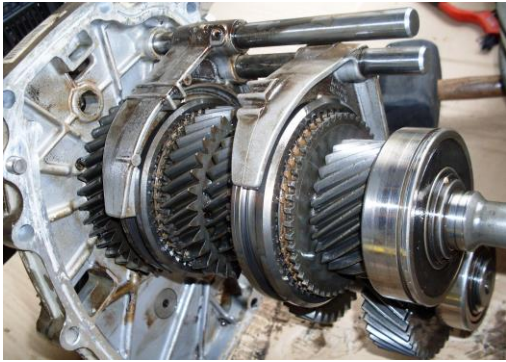
Predykcja zdarzeń w pętli zarządzania eksploatacją

## 2. CEL WYKŁADU

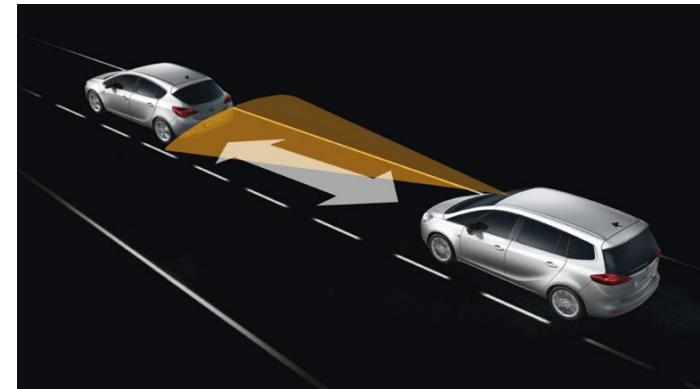
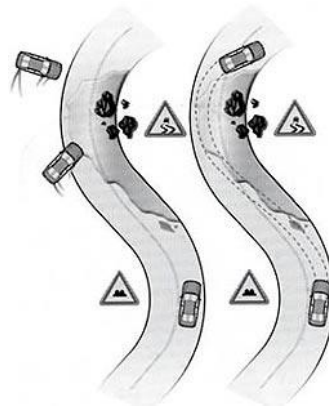
Opracowanie metod predykcji losowych zdarzeń niepożądanых, w czasie użytkowania OT w układzie C-M-O, na potrzeby aktywnego zarządzania procesem eksploatacji.



Predykcja zdarzeń w pętli zarządzania eksploatacją

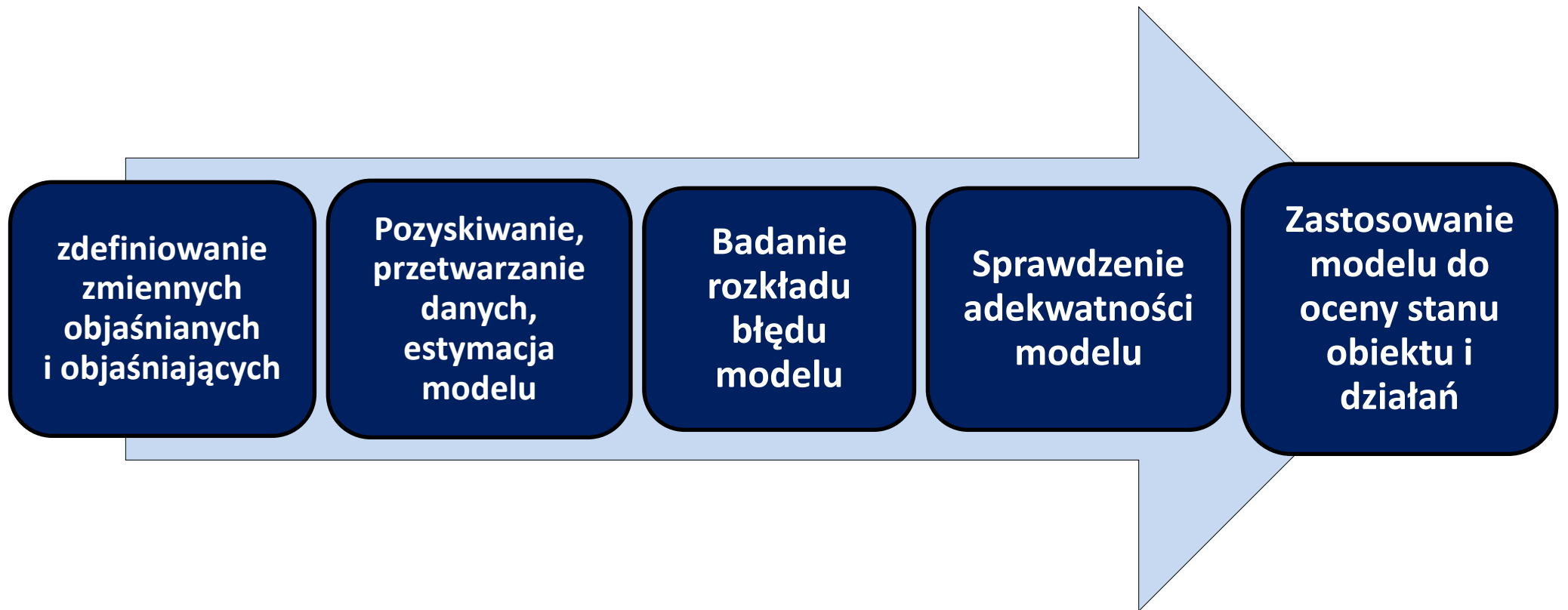


## Cel rozwiązywany poprzez sformułowanie problemów cząstkowych



### **3. PROBLEMY CZĄSTKOWE**

#### **Pierwszy problem – diagnostyka stanu technicznego metody regresji wielorakiej**



Proces modelowania regresyjnego



Podjęmowanie działań zależnych od sygnałów diagnostycznych  $\mathbf{d}$  wymaga ustalenia relacji pomiędzy wektorem stanów technicznych i macierzą stanów diagnostycznych

$$\underset{n \times 1}{\mathbf{X}} = \underset{n \times (k+1)}{\Phi(\mathbf{d})} \underset{(k+1) \times 1}{\boldsymbol{\beta}} + \underset{n \times 1}{\boldsymbol{\varepsilon}} \quad (1)$$

$\underset{n \times 1}{\mathbf{X}}$  – wektor stanów technicznych,

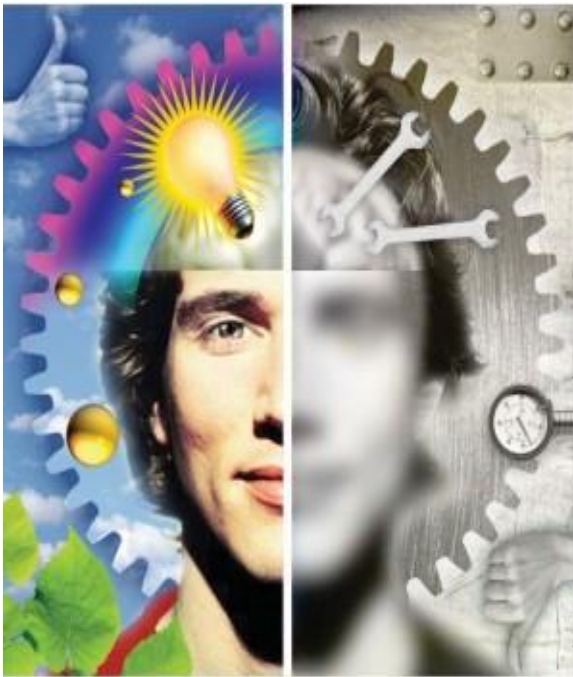
$\underset{n \times (k+1)}{\Phi(\mathbf{d})}$  – macierz przekształconych sygnałów diagnostycznych,

$\underset{(k+1) \times 1}{\boldsymbol{\beta}}$  – wektor parametrów,

$\underset{n \times 1}{\boldsymbol{\varepsilon}}$  – wektor błędów losowych.

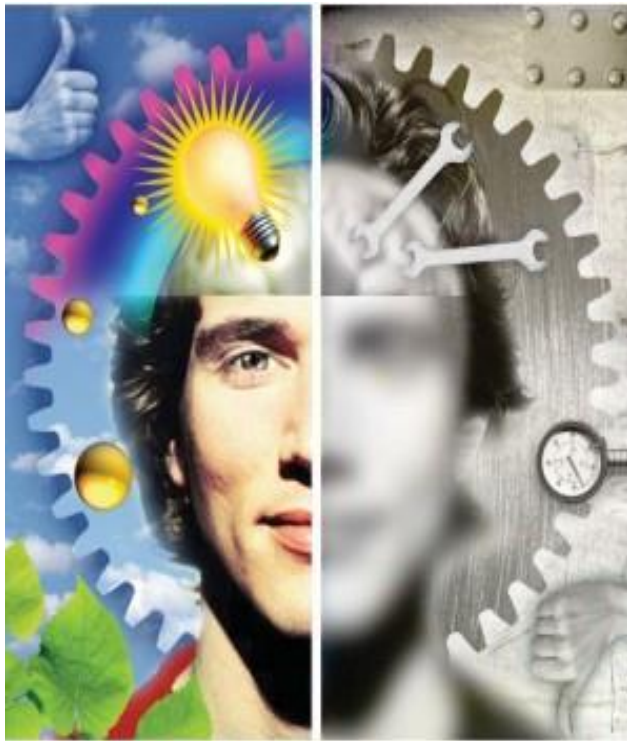
# Klasyfikator stanów

Na potrzeby podejmowania bieżących i przyszłych działań eksploatacyjnych **opracowywane są klasyfikatory stanów**



# Klasyfikator stanów

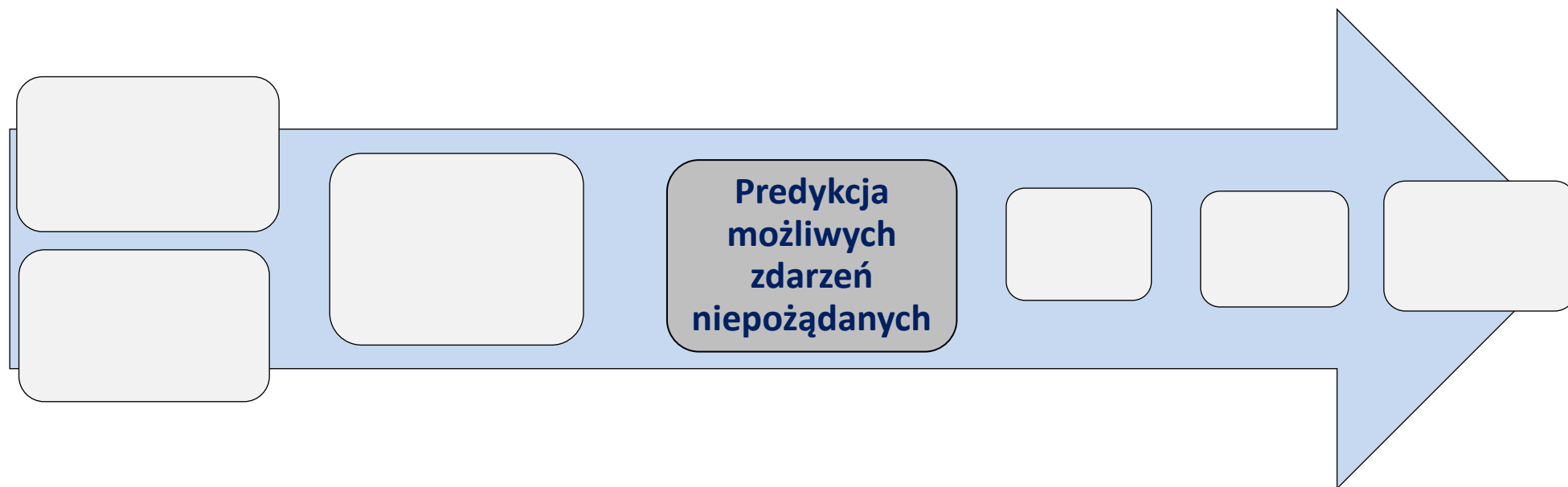
Na potrzeby podejmowania bieżących i przyszłych działań eksploatacyjnych **opracowywane są klasyfikatory stanów**



**Macierz parametrów stanu diagnozowanego obiektu + taksonomia = podstawa tworzenia bazy działań typu:**

***„jeżeli OT znajdzie się w stanie  $w$ , to podejmij działanie lub spowoduj reakcję  $r(w)$ ”***

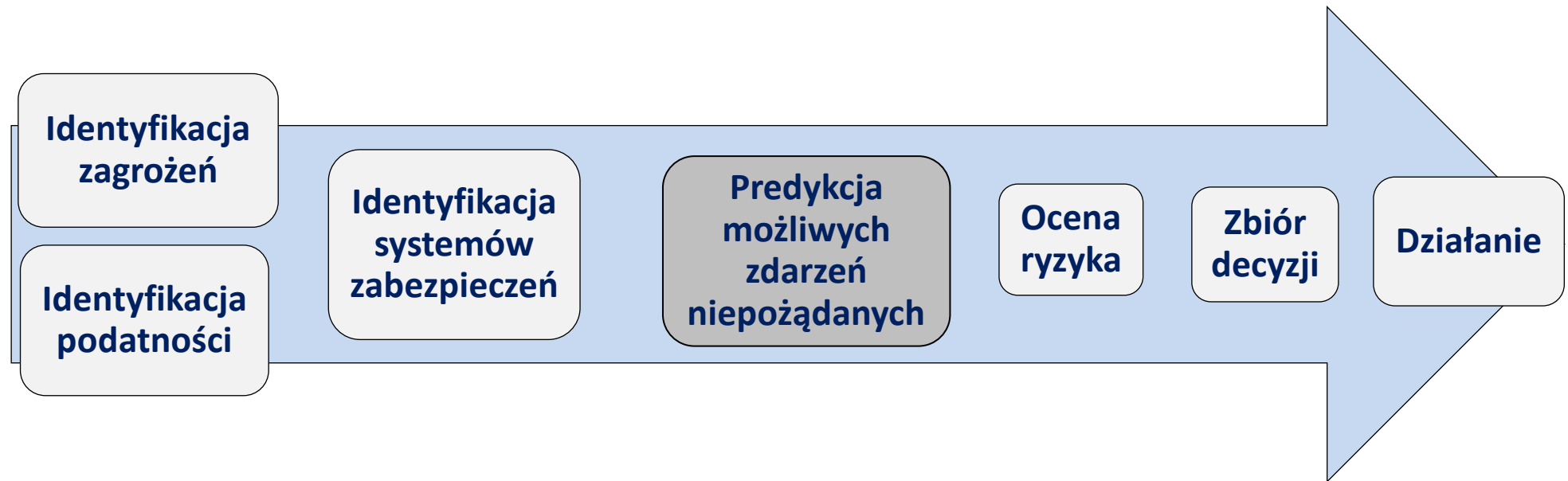
# Metodyka predykcji zdarzeń niepożądanych z uwzględnieniem zagrożeń



## Schemat procesu przygotowania decyzji i działań

**Podatność** – wada lub luka w strukturze fizycznej, organizacyjnej, proceduralnej, administracyjnej, zarządzającej, oprogramowania obiektu pozwalająca zagrożeniu wykorzystać ją do spowodowania szkód.

# Metodyka predykcji zdarzeń niepożądanych z uwzględnieniem zagrożeń



## Schemat procesu przygotowania decyzji i działań

**Podatność** – wada lub luka w strukturze fizycznej, organizacyjnej, proceduralnej, administracyjnej, zarządzającej, oprogramowania obiektu pozwalająca zagrożeniu wykorzystać ją do spowodowania szkód.

## METODY PREDYKCJI ZDARZEŃ

### Modele A.

#### Warunkowe modele zdarzeń

1. CRM1
2. CRM2

### Modele B.

#### Modele predykcji czasu zdatności

1. normalny
2. uogólniony gamma
3. PH
4. dynamiczny PH

**Służą zwiększaniu gotowości i poziomu bezpieczeństwa użytkowania OT poprzez identyfikację potencjalnych zagrożeń i zmniejszanie podatności na nie.**

## METODY PREDYKCJI ZDARZEŃ

### Modele A.

#### Warunkowe modele zdarzeń

1. CRM1
2. CRM2

### Modele B.

#### Modele predykcji czasu zdatności

1. normalny
2. uogólniony gamma
3. PH
4. dynamiczny PH

Służą zwiększaniu gotowości i poziomu bezpieczeństwa użytkowania OT poprzez identyfikację potencjalnych zagrożeń i zmniejszanie podatności na nie.

## II. Model CRM2 z dwoma typami uszkodzeń

Uwzględnia:

- uszkodzenia incydentalne,
- uszkodzenia starzeniowe.

Proponowana jest trójparametrowa rodzina rozkładów, której funkcja intensywności uszkodzeń przyjmuje postać:

$$h_{\mathcal{T}}(\lambda_1, \lambda_2, \beta)(t) = \lambda_1 + \lambda_2 \beta (\lambda_2 t)^{\beta-1}, \quad \lambda_1, \lambda_2, \beta > 0 \quad (2)$$

Rozkład ten został zastosowany do badania przyczyny awaryjności samochodów osobowych.

Funkcja przeżycia

$$S_{\mathcal{T}}(\lambda_1, \lambda_2, \beta)(t) = \exp(-\lambda_1 t - (\lambda_2 t)^{\beta}) \quad (3)$$



## II. Model CRM2 z dwoma typami uszkodzeń

Uwzględnia:

- uszkodzenia incydentalne,
- uszkodzenia starzeniowe.

Proponowana jest trójparametrowa rodzina rozkładów, której funkcja intensywności uszkodzeń przyjmuje postać:

$$h_{\mathcal{T}}(\lambda_1, \lambda_2, \beta)(t) = \lambda_1 + \lambda_2 \beta (\lambda_2 t)^{\beta-1}, \quad \lambda_1, \lambda_2, \beta > 0 \quad (2)$$

Rozkład ten został zastosowany do badania przyczyny uszkodzeń samochodów osobowych.

Funkcja przeżycia

$$S_{\mathcal{T}}(\lambda_1, \lambda_2, \beta)(t) = \exp(-\lambda_1 t - (\lambda_2 t)^\beta) \quad (3)$$

## Predykcja typu uszkodzenia

$$\mathbb{P}(T_E < T_W) = \frac{\lambda_1 \sqrt{\pi}}{\lambda_2} \exp\left(\frac{\lambda_1^2}{4\lambda_2^2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right) \quad (4)$$

Na podstawie danych serwisowych zostały oszacowane parametry  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  [1/rok] modelu dla  $\beta = 2$ .

Estymacja została dokonana na podstawie dwóch typów uszkodzeń, tj. incydentalnych, dla których  $\lambda_1 \approx 1$ , oraz starzeniowych dla których  $\lambda_2 \approx 2$ .

Stąd gęstość prawd. (jednostką jest rok eksploatacji):

$$f_{\mathcal{T}(1,2,2)}(t) = (1 + 8t)\exp(-t - 4t^2),$$

## Predykcja typu uszkodzenia

$$\mathbb{P}(T_E < T_W) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \frac{\sqrt{\pi}}{2} \exp\left(\frac{\lambda_1^2}{4\lambda_2^2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right) \quad (4)$$

Na podstawie danych serwisowych zostały oszacowane parametry  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  [1/rok] modelu dla  $\beta = 2$ .

Estymacja została dokonana na podstawie dwóch typów uszkodzeń, tj. incydentalnych, dla których  $\lambda_1 \approx 1$ , oraz starzeniowych dla których  $\lambda_2 \approx 2$ .

Stąd gęstość prawd. (jednostką jest rok eksploatacji):

$$f_{\mathcal{T}(1,2,2)}(t) = (1 + 8t)\exp(-t - 4t^2),$$

Prawdopodobieństwo, że pojazd z badanej zbiorowości trafi do stacji napraw z uszkodzeniem incydentalnym sprowadza się do obliczenia

$$\mathbb{P}(T_E < T_W) = (\sqrt{\pi}/4) \exp(0,0625) \operatorname{erfc}(0,25) \approx 0,34126$$

Prawdopodobieństwa utraty zdatności

$\lambda_2/\lambda_1$	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	5	10
$\mathbb{P}(T_E \leq T_W)$	0,98	0,93	0,75	0,54	0,42	0,34	0,15	0,08

Czas oczekiwania na zdarzenie niepożądane:

$$\mathbb{E}T = \frac{\sqrt{\pi}}{2\lambda_2} \exp\left(\frac{\lambda_1^2}{4\lambda_2^2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right) \quad (5)$$

Prawdopodobieństwo, że pojazd z badanej zbiorowości trafi do stacji napraw z uszkodzeniem incydentalnym sprowadza się do obliczenia

$$\mathbb{P}(T_E < T_W) = (\sqrt{\pi}/4) \exp(0,0625) \operatorname{erfc}(0,25) \approx 0,34126$$

Prawdopodobieństwa utraty zdatności

$\lambda_2/\lambda_1$	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	5	10
$\mathbb{P}(T_E \leq T_W)$	0,98	0,93	0,75	0,54	0,42	0,34	0,15	0,08

Czas oczekiwania na zdarzenie niepożądane:

$$\mathbb{E}T = \frac{\sqrt{\pi}}{2\lambda_2} \exp\left(\frac{\lambda_1^2}{4\lambda_2^2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{\lambda_1}{2\lambda_2}\right) \quad (5)$$

### III. Predykcje czasu przetrwania z uwzględnieniem różnych warunków użytkowania

#### Uogólniony model gamma

$$S(t|\mathbf{z}) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\Gamma(\alpha(\mathbf{z}), \beta(\mathbf{z})t^{\gamma(\mathbf{z})})}{\Gamma(\alpha(\mathbf{z}))} \mathbb{I}_{(0, \infty)}(t) \quad (6)$$

$\alpha(\mathbf{z}), \beta(\mathbf{z}), \gamma(\mathbf{z})$  – dodatnie parametry zależne od warunków eksploatacji  $\mathbf{z}$ ,

$\Gamma(x)$  – funkcja specjalna gamma,

$\Gamma(x, y)$  – niepełna funkcja gamma:

$$\Gamma(x, y) = \int_y^{\infty} t^{x-1} \exp(-t) dt \quad (7)$$

Warunkowa funkcja intensywności uszkodzeń:

$h(t|\mathbf{z})$

$$= \gamma(\mathbf{z}) \frac{(\beta(\mathbf{z}))^{\alpha(\mathbf{z})}}{\Gamma(\alpha(\mathbf{z}), \beta(\mathbf{z})t^{\gamma(\mathbf{z})})} t^{\alpha(\mathbf{z})\gamma(\mathbf{z})-1} \exp(-\beta(\mathbf{z})t^{\gamma(\mathbf{z})}) \mathbb{1}_{(0,\infty)}(t)$$

Warunkowy czas oczekiwania na zdarzenie niepożądane przy użytkowaniu OT w warunkach  $\mathbf{z}$ :

$$\mathbb{E}(T|\mathbf{z}) = \frac{\Gamma\left(\alpha(\mathbf{z}) + \frac{1}{\gamma(\mathbf{z})}\right)}{\Gamma(\alpha(\mathbf{z}))} (\beta(\mathbf{z}))^{-\frac{1}{\gamma(\mathbf{z})}} \quad (8)$$

## Czwarty problem cząstkowy

### **Przyczynowe predykcje utraty zdolności**

OT – wielomodułowy system przeznaczony do realizacji określonych zadań w określonych warunkach eksploatacyjnych.

Paradygmat: utrata zdolności OT następuje symultanicznie wraz z uszkodzeniem dokładnie jednego z jego modułów.

Moduł ten jest uznawany za bezpośrednią przyczynę utraty zdolności.



## Czwarty problem cząstkowy

### **Przyczynowe predykcje utraty zdatności**

OT – wielomodułowy system przeznaczony do realizacji określonych zadań w określonych warunkach eksploatacyjnych.

Paradygmat: **utrata zdatności OT następuje symultanicznie wraz z uszkodzeniem dokładnie jednego z jego modułów.**

Moduł ten jest uznawany za bezpośrednią przyczynę utraty zdatności.

**Metody przyczynowej predykcji** służą do wskazywania tych modułów, które winny być poddane obsłudze zapobiegawczej, gdyż ich uszkodzenie stanie się bezpośrednią przyczyną uszkodzenia OT.

Do ustalania rankingu wpływu modułów na uszkodzenie OT zdefiniowane zostały trzy kryteria będące modyfikacjami kryterium Birnbauma

$$I_i^B(t) = \mathbb{P}(\varphi(1_i, X(t)) - \varphi(0_i, X(t)) = 1) \quad (9)$$



Zygmunt Wilhelm Birnbaum (1903-2000) wywodzi się z *Lwowskiej Szkoły Matematycznej*. Jest współtwórcą przestrzeni Birnbauma-Orlicza, rozkładu Birnbauma-Saundersa i podstaw teorii niezawodności.

**Metody przyczynowej predykcji** służą do wskazywania tych modułów, które winny być poddane obsłudze zapobiegawczej, gdyż ich uszkodzenie stanie się bezpośrednią przyczyną uszkodzenia OT.

Do ustalania rankingu wpływu modułów na uszkodzenie OT zdefiniowane zostały trzy kryteria będące modyfikacjami kryterium Birnbauma

$$I_i^B(t) = \mathbb{P}(\varphi(1_i, \mathbf{X}(t)) - \varphi(0_i, \mathbf{X}(t)) = 1) \quad (9)$$



Zygmunt Wilhelm **Birnbaum** (1903-2000) wywodzi się z *Lwowskiej Szkoły Matematycznej*. Jest współtwórcą przestrzeni Birnbauma-Orlicza, rozkładu Birnbauma-Saundersa i podstaw teorii niezawodności.

## Pierwsza modyfikacja kryterium

– zastosowanie iloczynów  $I_i^B(t)f_i(t)$

Wersja unormowana

$$I_i^{B1}(t) = \frac{I_i^B(t)f_i(t)}{\sum_{i \in C} I_i^B(t)f_i(t)} \quad (10)$$

Kryterium to służy do predykcji przyczyny utraty zdolności OT w chwili  $t > 0$  jego użytkowania.



Zygmunt Wilhelm **Birnbaum** (1903-2000) wywodzi się z *Lwowskiej Szkoły Matematycznej*. Jest współtwórcą przestrzeni Birnbauma-Orlicza, rozkładu Birnbauma-Saundersa i podstaw teorii niezawodności.

## Druga modyfikacja

– w wersji nieunormowanej modyfikacja przyjmuje postać

$$I_i^{B2}(t) = \int_0^t I_i^B(u) dF_i(u) du \quad (11)$$

Kryterium to jest stosowane, gdy celem badań jest ustalenie potencjalnej przyczyny utraty zdolności OT przy założeniu, że utrata zdolności nastąpi w losowej chwili  $T$  z ustalonego przedziału  $(0, t)$ .



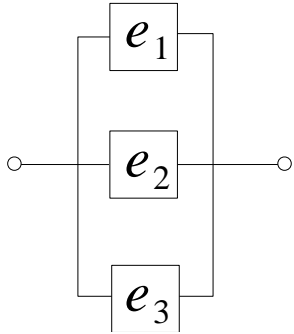
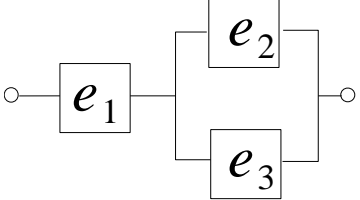
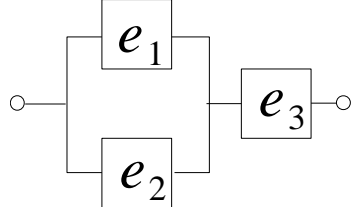
## Trzecia modyfikacja

– nieistotny jest czas, w którym nastąpi utrata zdatności

$$I_i^{B3} \stackrel{\text{def}}{=} \int_0^\infty I_i^B(t) dF_i(t) dt \quad (12)$$

### Przykładowe struktury niezawodnościowe OT

Struktura niezawodnościowa	Minimalne ścieżki	Schemat
$\varphi_1$	$\{e_1, e_2, e_3\}$	
$\varphi_2$	$\{e_1, e_2\}$ $\{e_1, e_3\}$ $\{e_2, e_3\}$	

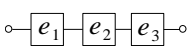
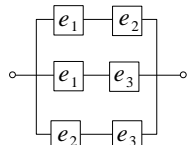
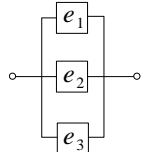
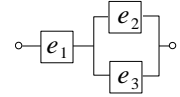
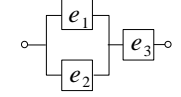
$\varphi_3$	$\{e_1\}$ $\{e_2\}$ $\{e_3\}$	
$\varphi_4$	$\{e_1, e_2\}$ $\{e_1, e_3\}$	
$\varphi_5$	$\{e_1, e_3\}$ $\{e_2, e_3\}$	

Dane:

$$R_i(t) = \exp(-\lambda_i t), \quad t > 0, \quad \lambda_i > 0, \quad i = 1, 2, 3$$

$$\mathbb{E}T_1 = 10 \text{ [j. c. ]}, \quad \mathbb{E}T_2 = 20 \text{ [j. c. ]}, \quad \mathbb{E}T_3 = 30 \text{ [j. c. ]}$$

## Wyniki prognoz symulacyjnych i analitycznych

Moduł \ system					
$e_1$ MS	0,570	0,260	0,170	0,830	0,200
$e_1$ MA	0,545	0,326	0,129	0,871	0,205
$e_2$ MS	0,280	0,450	0,270	0,090	0,360
$e_2$ MA	0,273	0,388	0,339	0,061	0,327
$e_3$ MS	0,150	0,290	0,560	0,080	0,440
$e_3$ MA	0,182	0,286	0,532	0,068	0,468

Wyznaczony ranking modułów służy do planowania racjonalnej profilaktycznej obsługi OT.

**Cel:** zmniejszanie podatności na uszkodzenia, zwiększanie gotowości operacyjnej i poziomu bezpieczeństwa.



## Piąty problem cząstkowy

### **Predykcje stanu niezawodnościowego OT z zabezpieczeniami**

OT z zabezpieczeniami, to obiekt z nadmiarowością diagnostyczno-usprawniającą, obniżającą jego podatność na zagrożenia, a tym samym zwiększającą jego gotowość i zwiększającą bezpieczeństwo jego użytkowania.

Opracowano stochastyczny proces do wyznaczania gotowości OT przy:

- braku zabezpieczeń,
- częściowym zabezpieczeniu,

W tym celu wprowadzona została miara stopnia zabezpieczenia

## Piąty problem cząstkowy

### **Predykcje stanu niezawodnościowego OT z zabezpieczeniami**

OT z zabezpieczeniem, to obiekt z nadmiarowością diagnostyczno-usprawniającą, obniżającą jego podatność na zagrożenia, a tym samym zwiększającą jego gotowość i zwiększającą bezpieczeństwo jego użytkowania.

Opracowano stochastyczny model do wyznaczania gotowości OT przy:

- braku zabezpieczeń,
- częściowym zabezpieczeniu,

## Piąty problem cząstkowy

### **Predykcje stanu niezawodnościowego OT z zabezpieczeniem**

OT z zabezpieczeniem, to obiekt z nadmiarowością diagnostyczno-usprawniającą, obniżającą jego podatność na zagrożenia, a tym samym zwiększającą jego gotowość i zwiększającą bezpieczeństwo jego użytkowania.

Opracowano stochastyczny model do wyznaczania gotowości OT przy:

- braku zabezpieczeń,
- częściowym zabezpieczeniu,

## **5. PODSUMOWANIE**

### **Cel wykładu:**

*identyfikacja problemów i opracowanie metod predykcji zdarzeń, w czasie użytkowania OT w układzie C-M-O, na potrzeby zarządzania procesem ich eksploatacji*

*został omówiony poprzez wskazanie metod rozwiązywania wybranych problemów częściowych.*

## **5. PODSUMOWANIE**

### **Cel wykładu**

*identyfikacja problemów i opracowanie metod predykcji zdarzeń, w czasie użytkowania OT w układzie C-M-O, na potrzeby zarządzania procesem ich eksploatacji*

**został omówiony poprzez wskazanie metod rozwiązywania wybranych problemów cząstkowych.**

## Literatura:

1. Andrzejczak K. (2013) *Metody prognozowania w modelowaniu eksploatacji środków transportu*. Wyd. PP.
2. Andrzejczak K. (2009) *Probabilistic model for competing risk*. Maintenance Problems, 75, s.7-18.
3. Andrzejczak K., Popowska B. (2011) *Three parameter model of the system lifetime with two types of risks*. Maintenance Problems, 80, s. 17-24.
4. Andrzejczak K., Popowska B. (2013) *Probabilistic safety assessment of the critical infrastructure*. Materiały XLI ZSN.
5. Kołowrocki K., Soszyńska-Budny J. (2011) *Reliability and safety of complex Technical Systems and Processes*. London, Springer.
6. Młyńczak M. (2012) *Metodyka badań eksploatacyjnych obiektów mechanicznych*. Oficyna Wydawnicza PWr.



**Dziękuję za uwagę**