

# Niezawodność strukturalna

Tomasz Słabiak  
Damian Staroń  
Adrian Stępień  
Grzegorz Stochel  
Michał Strzypek

Grupa 21, Automatyka i Robotyka

# Niezawodność

- Prawdopodobieństwo, że w danych warunkach i w określonym czasie maszyna będzie spełniała swoją funkcję bez wystąpienia uszkodzeń.

$$R(t) = P\{t \geq \tau\}$$

- $R(t)$  – niezawodność  
t – czas pracy bez uszkodzenia  
 $\tau$  – założony (lub wymagany) czas pracy bez uszkodzenia

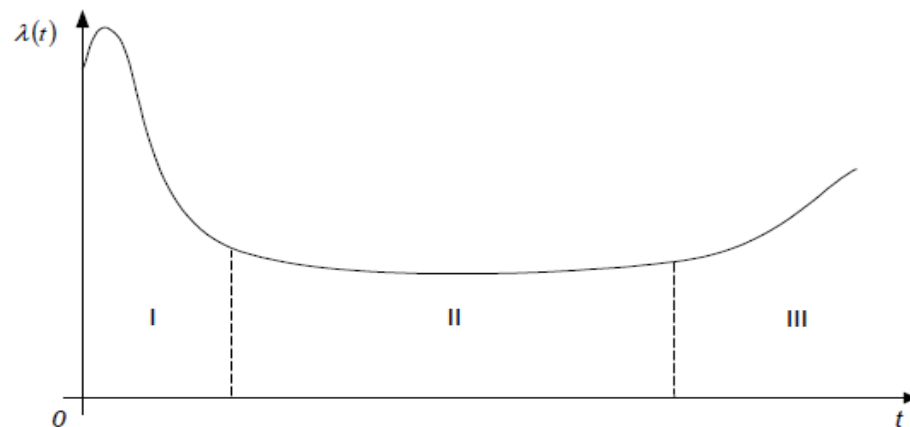
# Niezawodność strukturalna

- Całkowita niezawodność układu. Do jej wyznaczenia niezbędna jest znajomość niezawodności elementów, które tworzą badany układ.

# Źródła zawodności - uszkodzenia

## Uszkodzenie

- stopniowe
- nagłe
- usuwalne
- nieusuwalne
- krytyczne
- ważne
- nieistotne



- I. Okres eksploatacji wstępnej (oswajania, dojrzewania)  
II. Okres normalnej (właściwej) eksploatacji  
III. Okres starzenia się obiektu

# Źródła zawodności - zużycie

## Zużycie

- ścierne
- adhezyjne
- zmęczeniowe
- przez utlenianie
- cierno-korozyjne

Gazeta rozkłada się  
około roku



Butelka plastikowa  
około 500 lat



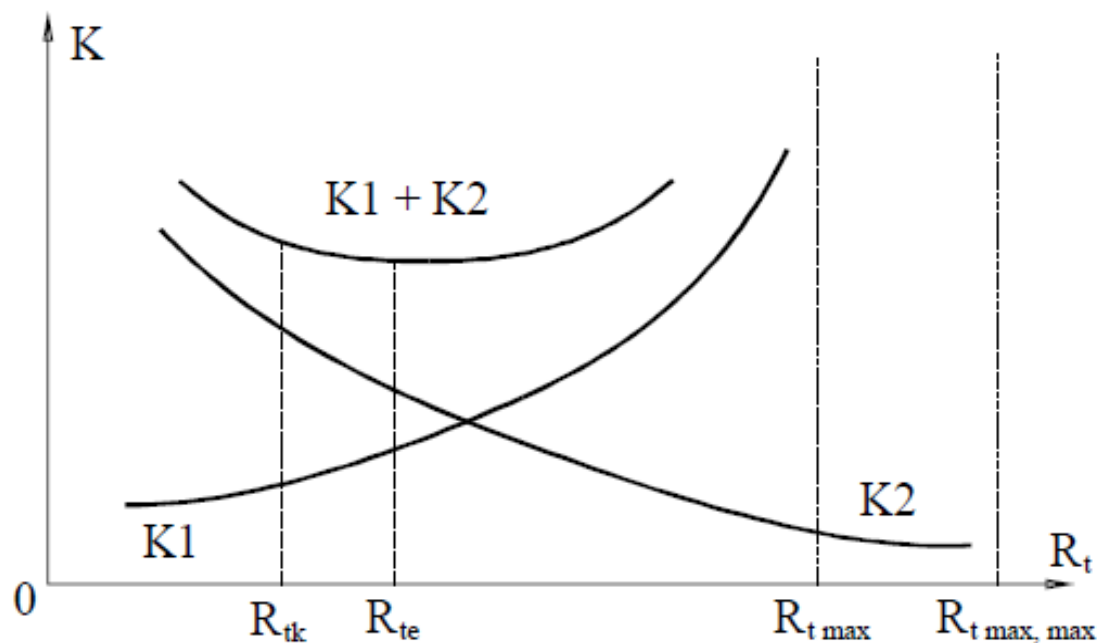
Polskie drogi  
przez jedną zimę



# Źródła zawodności - starzenie

- Czynniki wpływające na starzenie:
  - Czynniki atmosferyczne
  - Opady atmosferyczne
  - Ruchy powietrza
  - Ciśnienie atmosferyczne
  - Nagrzewanie słoneczne lub przemysłowe
  - Pole magnetyczne
  - Ruch cieczy
  - Aktywność chemiczna

# Wartości szczególne niezawodności



$R_{t\max}$  – wartość maksymalna niezawodności (uzyskiwania lokalnie)

$R_{te}$  – ekonomicznie optymalna wartość niezawodności

$R_{tk}$  – wartość krytyczna niezawodności (nietolerowania przez użytkowników)

$R_{t\max\max}$  – największa wartość niezawodności uzyskiwana w technice światowej

# Podstawowe pojęcia teorii niezawodności

- Sprawność
- Czas eksploatacji
- Uszkodzenie
- Stan niesprawności





# W opisie niezawodności korzystamy z sześciu charakterystyk:

- Prawdopodobieństwo poprawnej pracy
- Prawdopodobieństwo uszkodzeń,
- Częstotliwość uszkodzeń
- Intensywność uszkodzeń,
- Średnia częstotliwość uszkodzeń,
- Średni czas poprawnej pracy,
- Średni czas pracy między uszkodzeniami.

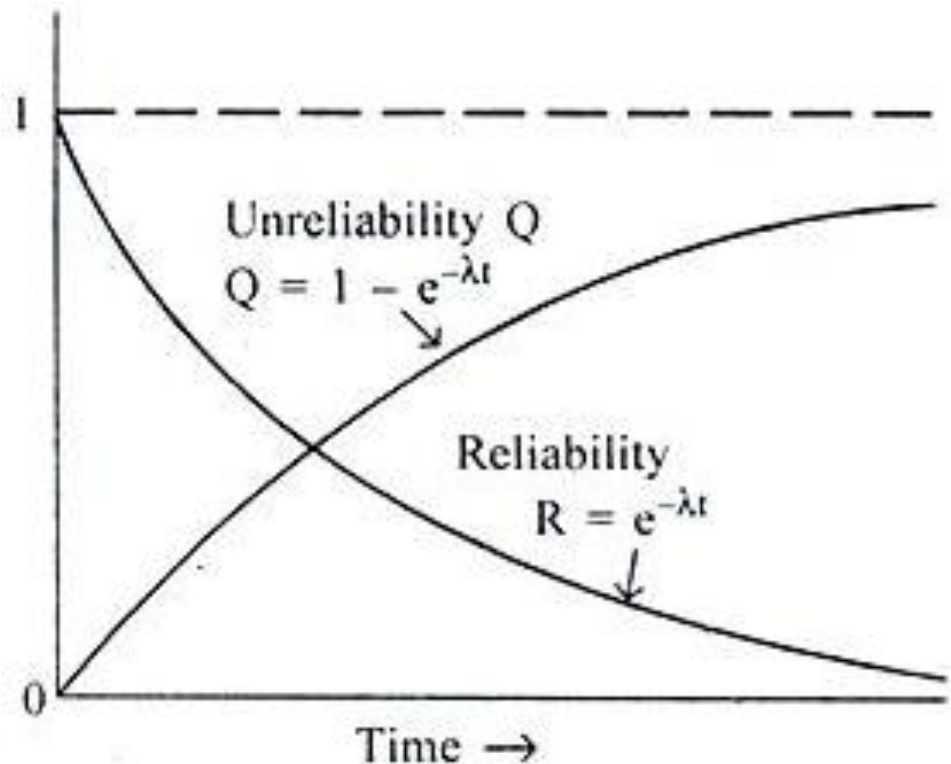
# Prawdopodobieństwo poprawnej pracy

Prawdopodobieństwo nie wystąpienia ani jednego uszkodzenia w ustalonym przedziale czasu przy określonych warunkach eksploatacyjnych

$$R(t) = P(t \geq T); t \geq 0$$

Oraz prawdopodobieństwo uszkodzeń

$$F(t) = 1 - R(t)$$



# Częstotliwość uszkodzeń $\propto (t)$

## • Częstotliwość uszkodzeń

– stosunek liczby uszkodzonych elementów w jednostce czasu do początkowej liczby elementów badanych.

$$\propto (t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

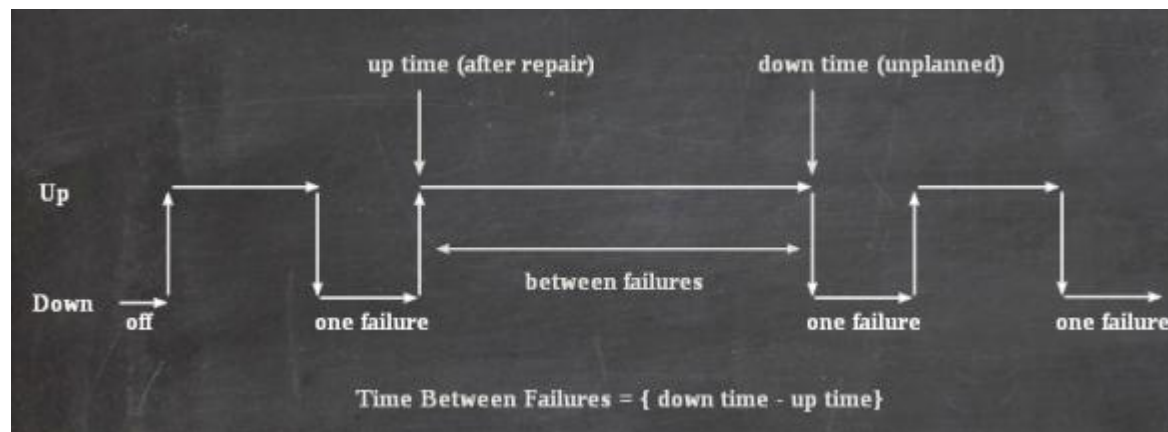


# Współczynnik MTBF

**MTBF** (z ang. Mean Time Between Failure)

- średni czas wyrażony w godzinach, w którym urządzenie może działać bez przerwy (awarii)<sup>[1]</sup>.

MTBF jest stosowany m.in. w informatyce oraz zarządzaniu.



# Współczynnik MTBF

- podstawowa miara niezawodności systemu
- w użyciu od 60 lat
- opracowano ponad 20 metod i procedur do przewidywania cykli życia
- stosowany w projektowaniu obiektów o znaczeniu krytycznym, np. sprzęt IT i telekomunikacyjny



# Wpływ MTBF na niezawodność i dostępność

- niezawodność – wartość MTBF zazwyczaj jest wyrażana w godzinach. Im wyższa wartość współczynnika MTBF, tym wyższa niezawodność produktu

$$\text{Niezaswodność} = e^{-\left(\frac{\text{Czas}}{\text{MTBF}}\right)}$$



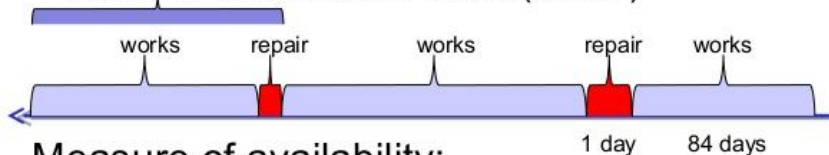
# MTTR Mean Time to Repair (or Recover)

- średni czas od momentu wystąpienia awarii do naprawy uszkodzonego urządzenia



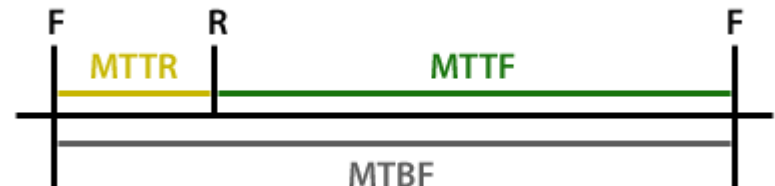
$$MTBF = MTTF + MTTR$$

- Mean Time to Repair (MTTR)
- Mean Time Between Failure (MTBF)



Measure of availability:

- 5 9s = 99.999% of time working = 5 ½ minutes of failure per year.



# PRZYKŁADOWE PARAMETRY URZĄDZEŃ

Urządzenie	Jednostka j	Częstość uszkodzeń $d_s$ [1/a 100 j]	Czas przestoju $t_s$ [h]	Współczynnik zawodności $q$ $\times 10^{-5}$
Linia 110 kV	km	1,5	6	1
Transformator 110/15 kV	szt	6	12	8
Wyłącznik 110kV	szt	3	6	2
Linia 30 kV	km	6,5	13,2	9,8
Szyny 30 kV	pole	0,32	9,8	0,36
Wyłącznik SN	szt	13,2	5,5	8,3



# Struktury niezawodnościowe

Struktura niezawodnościowa systemu jest to struktura przedstawiająca sposób wzajemnych powiązań elementów określających zależność uszkodzeń systemu od uszkodzeń jego elementów

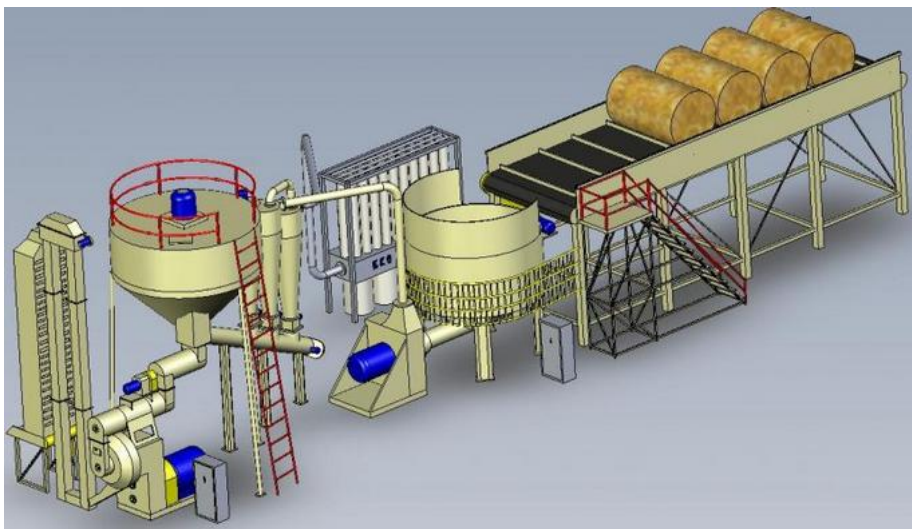
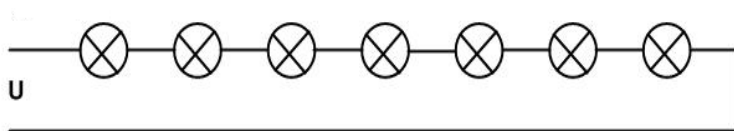
- **Struktury proste:**
  - Struktura szeregową
  - Struktura równoległa
  - Struktura szeregowo-równoległa
  - Struktura równoległo-szeregową
- **Struktury złożone**
  - Struktura typu mostek
  - Struktura typu siatka
  - Struktura typu sieć
- **Struktury progowe**

# Struktura szeregowa

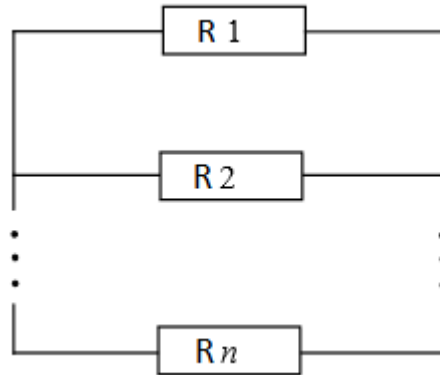


$$R_s = R_1 R_2 \dots R_n = \prod_{i=1}^n R_i$$

Przykłady obiektów o strukturze szeregowej :

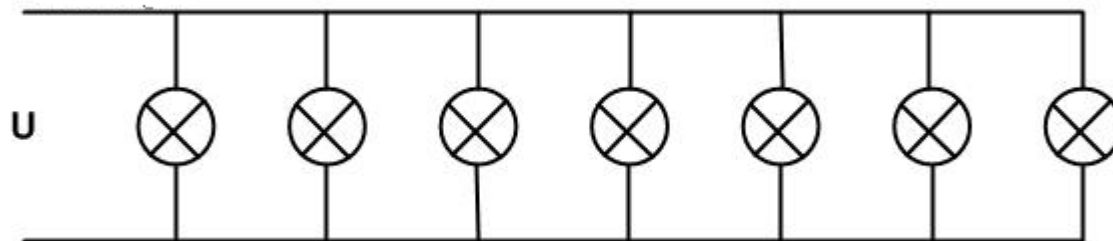


# Struktura równoległa

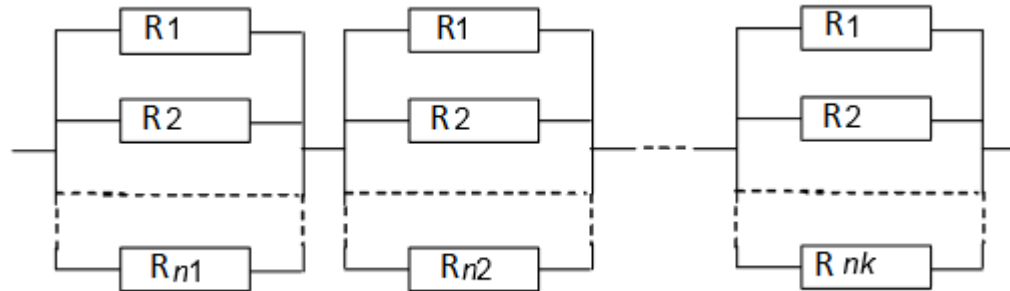


$$R_r = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Przykład obiektu o strukturze równoległej:



# Struktura szeregowo - równoległa

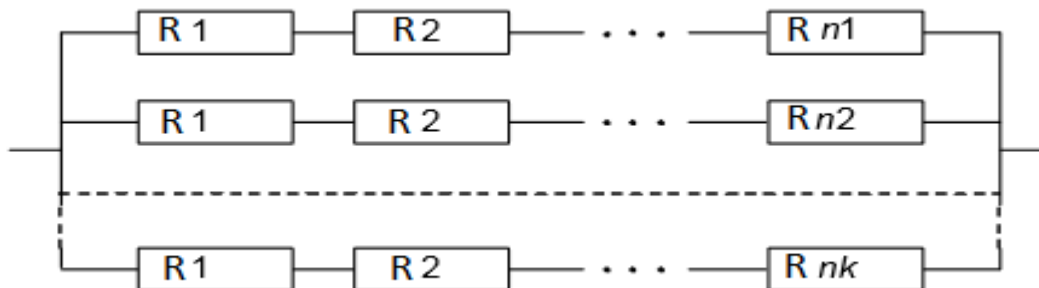


Obiekt o strukturze szeregowo – równoległej to obiekt złożony z  $n$  zespołów o  $m$  równoległe połączonych elementach.

Niezawodność takiego obiektu wyraża się wzorem :

$$R_{sr} = \prod_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^m (1 - R_{ij})]$$

# Struktura równoległo-szeregową

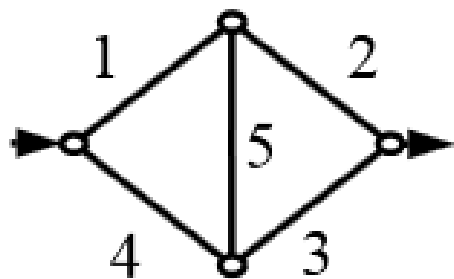


Obiekt o strukturze równoległo – szeregowej to obiekt złożony z n zespołów o m szeregowo połączonych elementach.

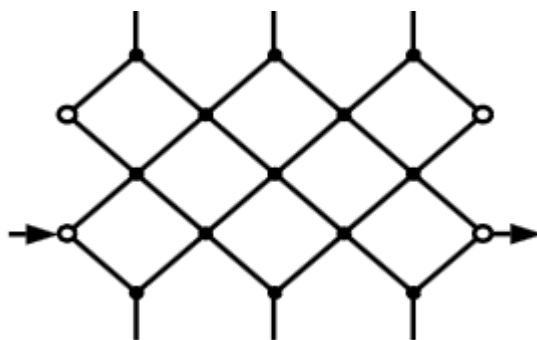
Niezawodność takiego obiektu wyraża się wzorem :

$$R_{rs} = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \prod_{i=1}^m R_{ij})$$

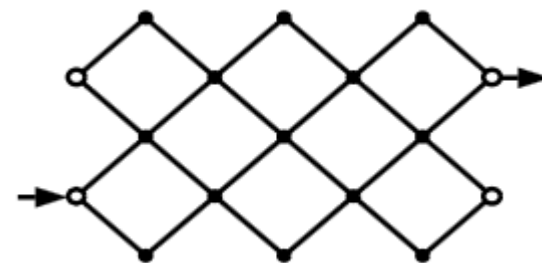
# Struktury złożone



Struktura typu mostek



Struktura typu siatka



Struktura typu sieć

Aby wyliczyć niezawodność obiektów o strukturze złożonej trzeba skorzystać z tzn. metody dekompozycji prostej polegającej na sprowadzeniu obiektów złożonych do obiektów o strukturze prostej.

# Struktury progowe

Obiekt o strukturze progowej jest zdatny wtedy gdy co najmniej k spośród n jego elementów jest w stanie zdatności

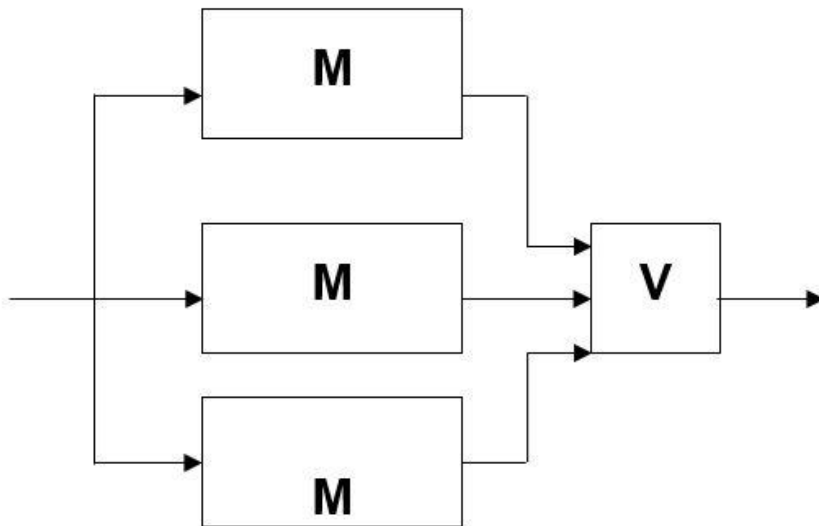


# Układy redundantne

Układy, które mają zwiększoną niezawodność przez zwielokrotnienie ich najważniejszych elementów lub funkcji.



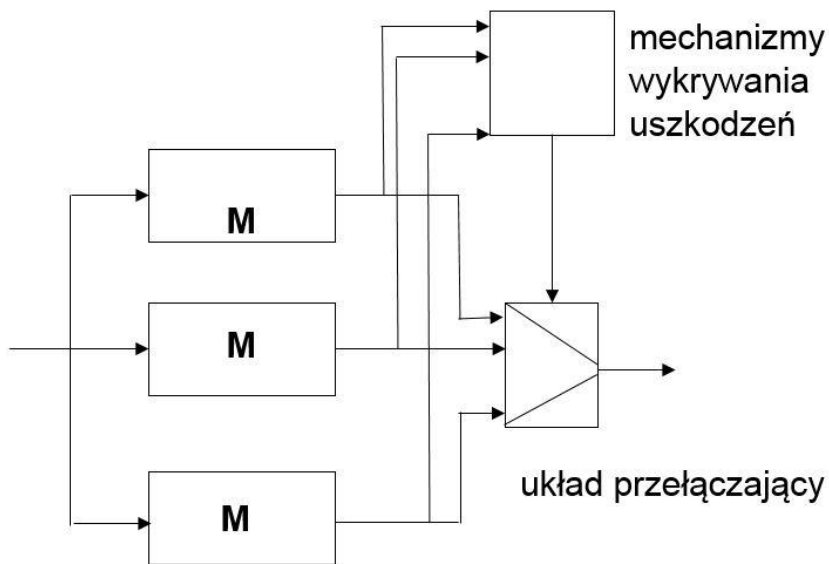
# Statyczna redundancja sprzętowa



Założenia:

- niezależne uszkodzenia modułów,
- większa ilość modułów działających od niedziałających,
- sprawny układ głosujący

# Dynamiczna redundancja sprzętowa



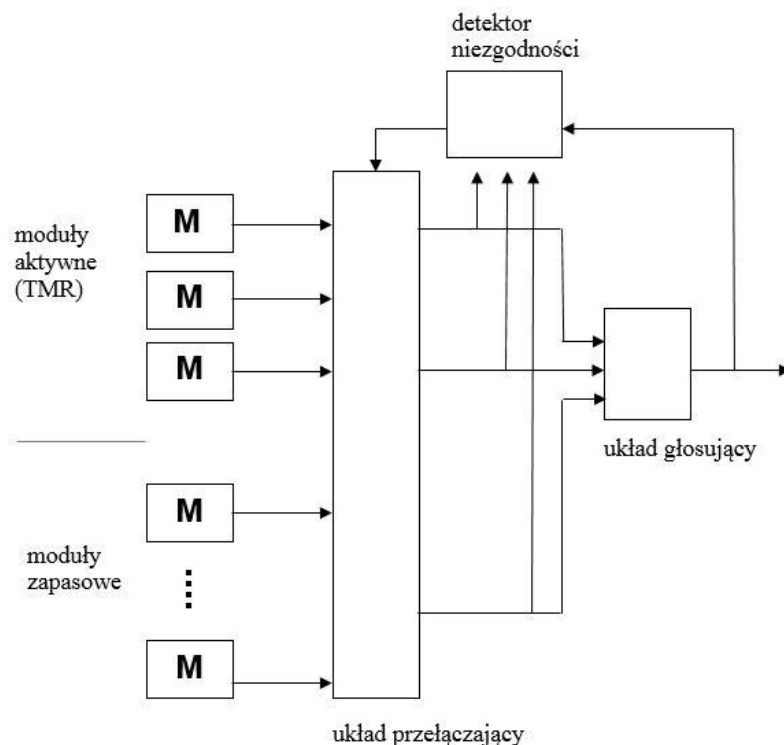
## Założenia:

- idealne mechanizmy wykrywania uszkodzeń,
- sprawny układ przełączający,
- niezależne uszkodzenia modułów

# Dynamiczna redundancja sprzętowa

Redundancja cold	Redundancja warm	Redundancja hot
<ul style="list-style-type: none"><li>- Czas reakcji ma minimalne znaczenie,</li><li>- Może bazować na czynniku ludzkim</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bardzo krótki czas reakcji,</li><li>- Dopuszczalne małe przerwy w procesie</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Niedopuszczalna nawet najmniejsza przerwa w procesie</li></ul>

# Hybrydowa redundancja sprzętowa



Połączenie statycznej i dynamicznej redundancji sprzętowej.

Założenia:

- niezależne uszkodzenia modułów,
- sprawny układ przełączający,
- sprawny układ głosujący,
- sprawny detektor niezgodności.

# Tworzenie schematu niezawodnościowego

- Analiza schematu topologicznego funkcjonowania systemu,
- Wyróżnienie w systemie elementów, których niezawodność ma wpływ na niezawodność systemu,
- Odwzorowanie wyróżnionych elementów w postaci bloków,
- Graficznie odwzorowanie zależności między stanami niezawodnościowymi elementów, a stanem niezawodnościowym systemu.

# Metody zwiększania niezawodności

## Przedeksploatacyjne

- Konstrukcyjne
- Technologiczne

## Eksploatacyjne

- Stabilizacja warunków użytkowania
- Stabilizacja cieplna
- Optymalizacja obciążeń
- Badania kontrolne
- Prognozowane uszkodzeń (nadzorowanie)
- Regeneracja
- Wprowadzenie nadmiaru eksploatacyjnego

# Metody zwiększania niezawodności

Zwiększenie niezawodności słabych ogniw uzyskuje się dzięki rozpoznaniu procesów niszczących i zwiększeniu odporności elementów na te uszkodzenia.