

DCS  
ROZPROSZONE SYSTEMY AUTOMATYKI  
WYKŁAD 10

Adam Ratajczak

Pracownia Automatyki, Modelowania i Mechatroniki  
Katedra Automatyki, Mechatroniki i Systemów Sterowania  
Wydział Elektroniki  
Politechnika Wrocławska

Copyright © 2021 Adam Ratajczak<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Niniejszy dokument zawiera materiały do wykładu z przedmiotu Rozproszone Systemy Automatyki. Jest on udostępniony pod warunkiem wykorzystania wyłącznie do własnych, prywatnych potrzeb i może być kopiowany wyłącznie w całości, razem ze stroną tytułową.

# DEFINICJE WSTĘPNE

## REDUNDANCJA

Redundancja to urządzenia i fragmenty kodu, które byłyby zbędne gdyby system działał bezbłędnie. Redundancję stosuje się do zwiększenia niezawodności i dostępności systemów automatyki.

# DEFINICJE WSTĘPNE

## FAULT-TOLERANT – ODPORNOŚĆ NA AWARIE

Odporność na awarie to zdolność systemu do przeprowadzenia prawidłowego działania niezależnie od problemów sprzętowych i błędów w programie.

# DEFINICJE WSTĘPNE

## FAULT – AWARIA

Dewiacja wartości jednej lub wielu zmiennych logicznych od jej poprawnej wartości.

Błąd w działaniu jednego lub więcej urządzeń.

## DEFINICJE

## RELIABILITY – NIEZAWODNOŚĆ

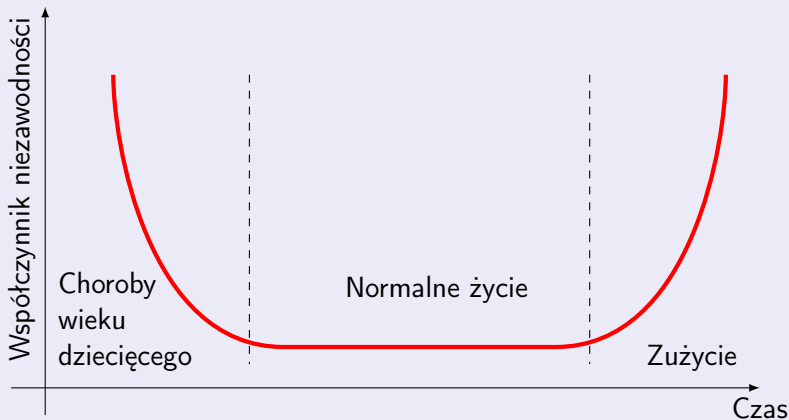
Niezawodność to miara prawidłowego działania systemu na zadanym interwale czasu (mission time).

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

- $R(t)$  prawdopodobieństwo prawidłowego działania
- $t$  czas pracy systemu bez przestojów (mission time)
- $\lambda$  współczynnik awaryjności w czasie ( $N$  awarii/godzinę)
- $1/\lambda$  Mean Time To Failure (MTTF)

# RELIABILITY

## WSPÓŁCZYNNIK NIEZAWODNOŚCI PODCZAS ŻYCIA PRODUKTU



# RELIABILITY

## REDUNDANCJA JAKO ZWIĘKSZENIE NIEZAWODNOŚCI

$$R + F = 1$$

$R$  prawdopodobieństwo prawidłowego działania

$F$  prawdopodobieństwo wadliwego działania

$$R = 1 - F$$

Na przykład

$$R = 1 - 0.1 = 0.90$$

# RELIABILITY

## REDUNDANCJA JAKO ZWIĘKSZENIE NIEZAWODNOŚCI

$$R = 1 - (F_1)(F_2)$$

$F_1$  prawdopodobieństwo wadliwego działania systemu 1

$F_2$  prawdopodobieństwo wadliwego działania systemu 2

$$R = 1 - F$$

Na przykład

$$R = 1 - (0.1)(0.1) = 0.99$$



# RELIABILITY

## REDUNDANCJA JAKO ZWIĘKSZENIE MTTF

$$R(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/MTTF}$$

$$MTTF = -(t / \ln R(t))$$

Na przykład (mission time 24/7/365)

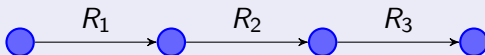
$$MTTF = -(1rok / \ln 0.90)) = 9.49lat$$

Po wprowadzeniu redundancji

$$MTTF = -(1rok / \ln 0.99)) = 99.50lat$$

## RELIABILITY

## REDUNDANCJA NAJSŁABSZEGO OGNIWA



$R_n$  niezawodność elementu  $n$

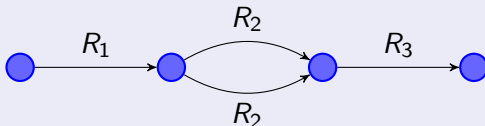
$$R_{\text{system}} = (R_1)(R_2)(R_3)$$

Na przykład  $R_1 = 0.98$ ,  $R_2 = 0.85$ ,  $R_3 = 0.97$

$$R_{\text{system}} = (0.98)(0.85)(0.97) = 0.81$$

## RELIABILITY

## REDUNDANCJA NAJSŁABSZEGO OGNIWA



Dla zdublowanego elementu

$$R = 1 - (F_2)(F_2)$$

Niezawodność systemu

$$R_{\text{system}} = (R_1)(1 - (F_2)(F_2))(R_3)$$

Na przykład  $R_1 = 0.98$ ,  $R_2 = 0.85$ ,  $R_3 = 0.97$

$$R_{\text{system}} = (0.98)(1 - (0.15)(0.15))(0.97) = 0.93$$

## DEFINICJE

## AVAILABILITY – DOSTĘPNOŚĆ

Dostępność to procentowa miara czasu, w którym system jest sprawny i pracuje w zadanym czasie (mission time).

$$A(t) = \frac{t_u}{t_u + t_d} \approx \frac{MTTF}{MTTF + MDT}$$

$A(t)$  Dostępność

$t_u$  czas bezawaryjnej pracy (uptime)

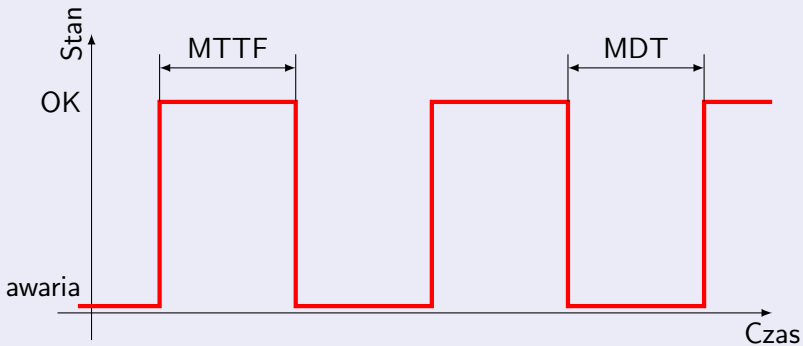
$t_d$  czas przestojów (downtime)

$MTTF$  Mean Time To Failure

$MDT$  Mean Downtime

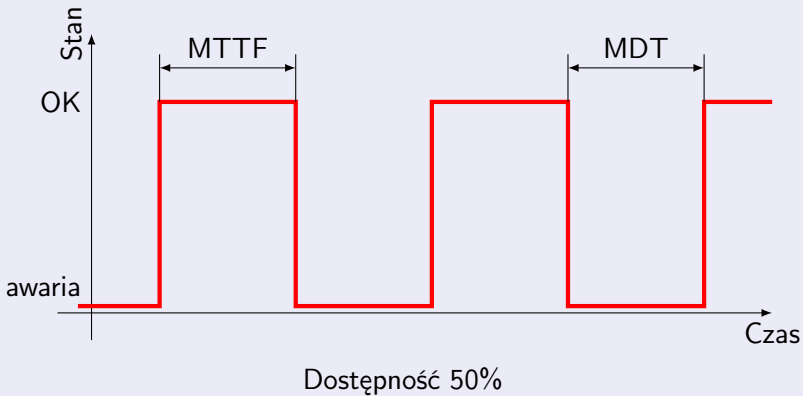
# AVAILABILITY

## DOSTĘPNOŚĆ



# AVAILABILITY

## DOSTĘPNOŚĆ



# AVAILABILITY

**MTTR** Mean Time To Repair – Średni czas usunięcia awarii

**MTDF** Mean Time to Diagnose Fault – Średni czas zdiagnozowania awarii

**MDT** Mean Downtime – Średni czas przestoju

$$MDT = MTTR + MTDF$$

## CZAS PRZESTOJU W UKŁADACH BEZ REDUNDANCJI ZALEŻY OD CZASU

- 1 Wykrycia awarii
- 2 Zdiagnozowania problemu
- 3 Naprawy lub wymiany uszkodzonej części systemu
- 4 Przywrócenia pełnej sprawności systemu

# AVAILABILITY

## DOSTĘPNOŚĆ SYSTEMU 24/7/365(6)

Dostępność	MDT/rok	MDT/miesiąc	MDT/tydzień
90%	36.5 d	72 h	16.8 h
99%	3.65 d	7.2 h	1.68 h
99.9%	8.76 h	43.8 m	10.1 m
99.99%	52.56 m	4.32 m	1.01 m
99.999%	5.26 m	25.9 s	6.05 s
99.9999%	31.5 s	2.59 s	0.605 s



# DEFINICJE

## MAINTAINABILITY - KONSERWACYJNOŚĆ, OBSŁUGIWALNOŚĆ

Zdolność systemu do zmian konfiguracyjnych i szybkości przeprowadzania napraw.

## CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA MAINTAINABILITY

- Diagnostyka do wykrywania i izolowania awarii
- Zgłaszanie awarii
- Narzędzia do rozwiązywania awarii
- Przeszkolenie personelu
- Przystępność systemu
- Czas wymiany/naprawy
- Możliwość dodawania i zmiany komponentów

# MAINTAINABILITY

## TECHNOLOGIE POPRAWIAJĄCE MAINTAINABILITY

- Dodawanie i usuwanie modułów pod zasilaniem
- Dodawanie on-line węzłów I/O
- Edycja programu on-line i ładowanie programu on-line
- Wbudowane przełączanie pomiędzy producentem/konsumentem w komunikacjach
- Wewnętrzne mechanizmy diagnostyczne
- Diagnostyka problemów obwodów obiektowych: zwarcie, przerwa w obwodzie, itp.
- Konfigurowalna reakcja na awarię: hold last state, turn off
- Diagnostyka czujników i aktuatorów poprzez technologie fieldbus'owe
- Dodawanie obiektów (I/O, tags, HMI) podczas pracy

# AVAILABILITY

## METODY PODNIESIENIA DOSTĘPNOŚCI

- Bieżące testy i właściwe wykorzystanie technologii
- Predykcja poprzez automatycznie obsługiwane sytuacje awaryjnych
- Diagnostyka poprzez monitorowanie stanu
- Redundancja elementów systemu

# REDUNDANCJA

## RODZAJE REDUNDANCJI

- Cold Redundancy
- Warm Redundancy
- Hot Redundancy

# RODZAJE REDUNDANCJI

## COLD REDUNDANCY

Stosowana w procesach gdzie czas reakcji nie jest krytyczny. Często wymaga interwencji operatora. W momencie uszkodzenia pewnego elementu operator uruchamia drugi, rezerwowy element systemu.

# RODZAJE REDUNDANCJI

## WARM REDUNDANCY

Stosowane w procesach gdzie czas reakcji jest istotny ale może wystąpić krótkotrwały przestój. Typowo, w skład wchodzi dwa kontrolery (*primary* i *standby*). *Primary* przetwarza I/O, a *secondary* oczekuje na problemy sterownika *primary*. Dane pomiędzy sterownikami są przekazywane cyklicznie. Po przełączeniu sterownik *standby* może wymagać kilku cykli aby odbudować brakujące dane i przejąć całkowitą kontrolę nad procesem.

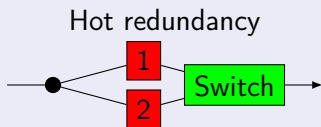
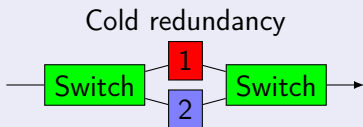
# RODZAJE REDUNDANCJI

## HOT REDUNDANCY

Stosowane w procesach, w których nie może wystąpić przestój. Konfiguracja sprzętowa jest w zasadzie taka sama jak w przypadku *Warm Standby*. Taki typ redundancji zapewnia bezuderzeniowe przełączenie sterowania I/O. Dane wymieniane pomiędzy sterownikami mogą być przesyłane synchronicznie lub asynchronicznie.

# RODZAJE REDUNDANCJI

## PORÓWNANIE





# REDUNDANCJA

## REDUNDANCJA KOMPONENTÓW SYTEMU

- Systemy bezprzerwowego zasilania (UPS)
- Redundantne systemy zasilania
- Redundancja komponentów
  - Płyty bazowe
  - Jednostki CPU
  - Moduły I/O
  - Czujniki i urządzenia wykonawcze
  - PC/HMI
  - Sieci
  - Media
  - Serwery
  - Bazy danych

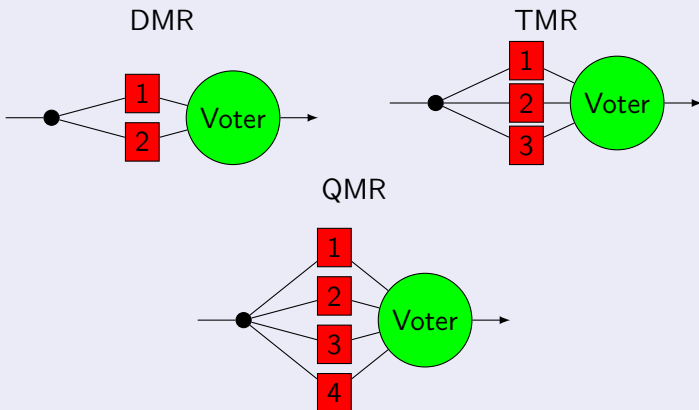
# REDUNDANCJA

## PRZYCZYNY PRZEŁĄCZEŃ ACTIVE-STAND-BY

- 1 Awaria sprzętu
- 2 Błąd połączenia pomiędzy aktywnym sterownikiem a wyspami I/O
- 3 Wypięcie modułu z płyty bazowej
- 4 Ręczne wymuszenie przełączenia
- 5 Instrukcja w programie
- 6 Utrata zasilania
- 7 Błąd pamięci aktywnej jednostki
- 8 Błąd w programie (watchdog)

# REDUNDANCJA

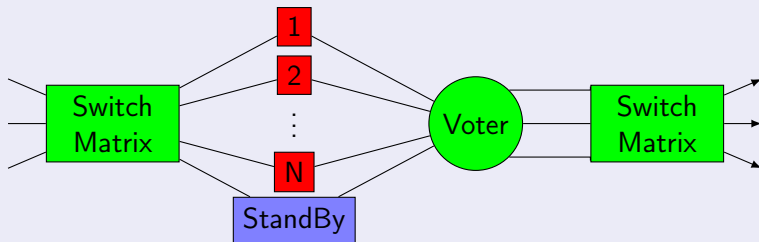
## REDUNDANCJA MODUŁOWA



# REDUNDANCJA

## REDUNDANCJA MODUŁOWA

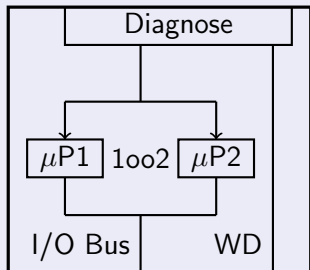
1:N Redundancy



Jedna jednostka rezerwowa dla wielu (N) modułów.

# REDUNDANCJA

## REDUNDANCJA PROCESORA



### System dwóch procesorów

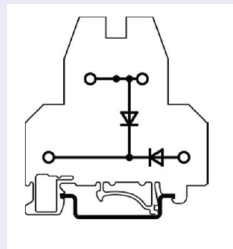
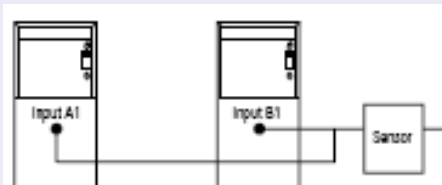
- Diagnostyka w trakcie trwania operacji
- Porównywanie wyników

### Reakcja w momencie wystąpienia błędu

- Zatrzymanie jednostki centralnej
- Sygnał wyłączenia albo sygnał Watchdog, wszystkie wyjścia są wyłączane

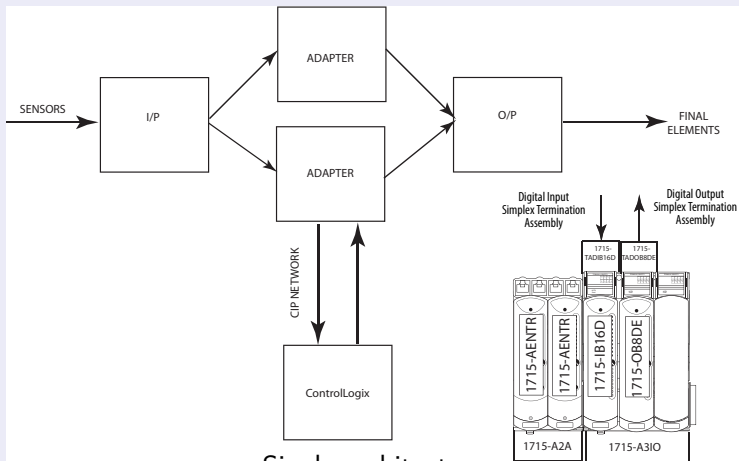
# REDUNDANCJA

## REDUNDANCJA MODUŁÓW I/O



# REDUNDANCJA

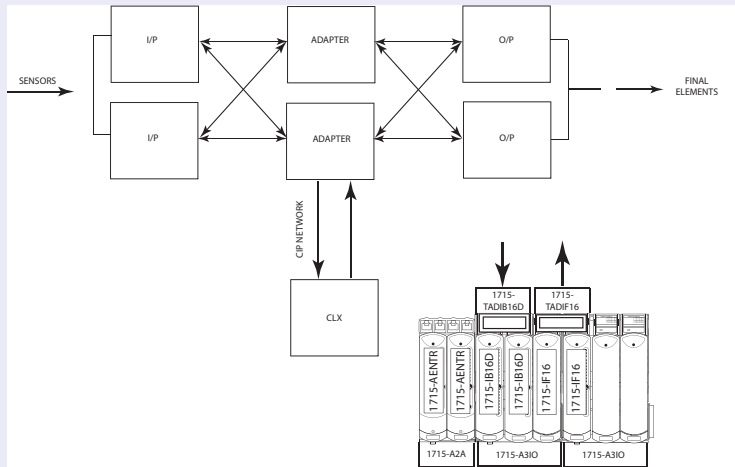
## REDUNDANCJA MODUŁÓW I/O (ALLEN-BRADLEY)



Single architecture

## REDUNDANCJA

## REDUNDANCJA MODUŁÓW I/O (ALLEN-BRADLEY)



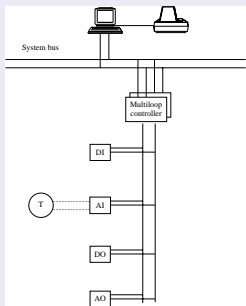
Duplex architecture



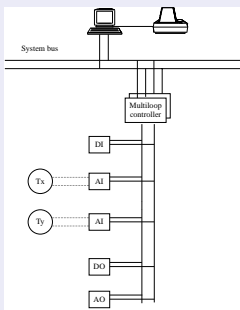
# REDUNDANCJA

## REDUNDANCJA CZUJNIKÓW

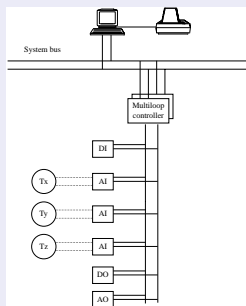
1oo1



1oo2

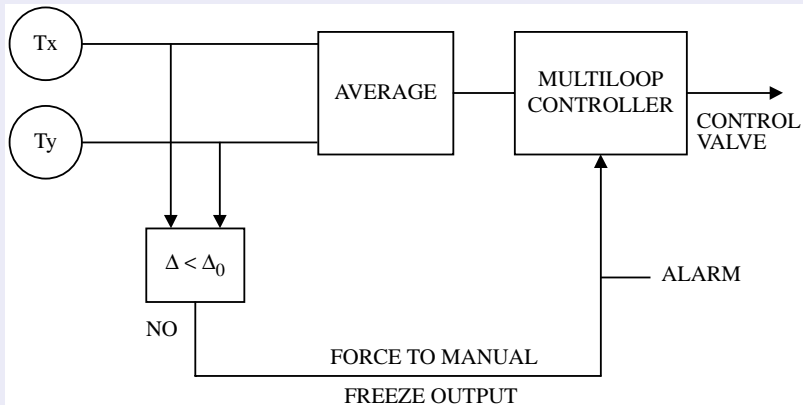


2oo3



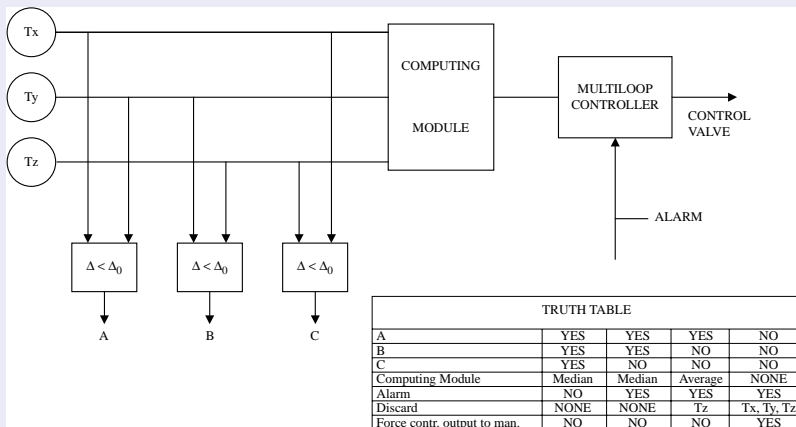
## REDUNDANCJA CZUJNIKÓW

1oo2D



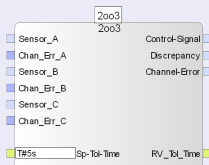
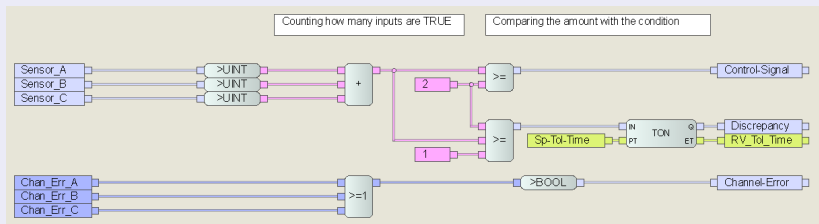
## REDUNDANCJA CZUJNIKÓW

2003D



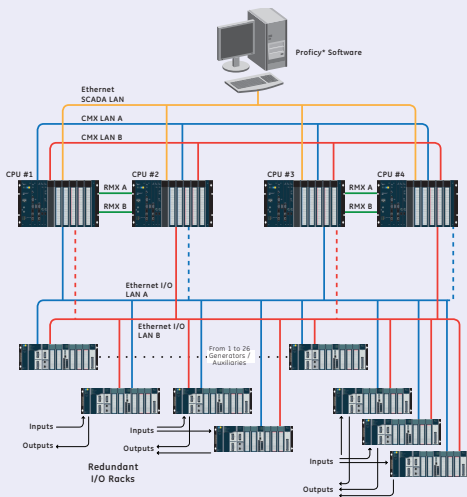
## REDUNDANCJA CZUJNIKÓW – IMPLEMENTACJA

2003D



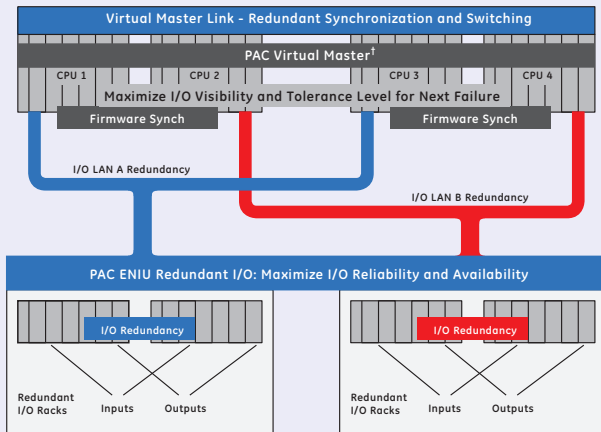


# REDUNDANCJA – PRZYKŁAD



Źródło: [www.geautomation.com](http://www.geautomation.com)

# REDUNDANCJA – PRZYKŁAD



† Patent pending as of December 2009

Źródło: [www.geautomation.com](http://www.geautomation.com)

**MTTF** Mean Time To Failure

**MTTR** Mean Time To Repair

**MTDF** Mean Time to Diagnose Fault

**MDT** Mean Downtime – Średni czas przestoju

$$MDT = MTTR + MTDF$$

**MTBF** Mean Time Between Failure

$$MTBF = MTTF + MDT$$

**DMR** Dual Modular Redundancy

**TMR** Triple Modular Redundancy

**QMR** Quadruple Modular Redundancy








REDUNDANCY Redundancja

RELIABILITY Niezawodność

AVAILABILITY Dostępność

MAINTAINABILITY konserwacyjność, obsługiwalność

-  INSTRUMENT ENGINEERS' HANDBOOK Process Measurement and Analysis vol. I
-  A. Pietrzyk, B. Root, P. Gruhn;  
Designing a Control System for High Availability
-  Three Levels of Redundancy  
Schneider Electric
-  Redundant System Basic Concepts  
National Instruments White papers
-  Techincal White Paper – Fieldbus and Availability  
Pepperl+Fuchs