

# **NIEZAWODNOŚĆ SYSTEMÓW KOMPUTEROWYCH**

## Literatura:

1. M. Prażewska: Podstawy niezawodności, Skrypt PŚk Nr 180, Kielce 1989
2. Praca zbiorowa pod. red. M. Prażewskiej: Niezawodność urządzeń elektronicznych, WKŁ Warszawa 1987
3. Firkowicz S.: Statystyczne badanie wyrobów. WNT ,Warszawa 1976 r.
4. Bobrowski D.:Modele i metody matematyczne teorii niezawodności w przykładach i zadaniach. WNT, Warszawa 1985 r.
5. Prażewska M., Tuszyński L.: Niezawodność wyrobów. Zarządzanie i prognozowanie w zastosowaniach przemysłowych. Skrypt PŚk Nr 255, Kielce 1994
6. Sotskow B.S.: Niezawodność elementów i urządzeń automatyki .WNT, Warszawa 1973r.
7. Nowicki T.: Teoria niezawodności. Zbiór zadań. Skrypt WAT Nr 1615/86, 1986r.
8. Bobrowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. WNT , Warszawa 1986 r.

# POJĘCIA PODSTAWOWE

**Obiekt** – przedmiot, który poddaje się badaniu i ocenie niezawodności (**EOQC**)

**Obiekt techniczny** – Obiekt przeznaczony do spełniania określonych funkcji (zadań) w określonych warunkach otoczenia

**Element (niezawodnościowy)** – obiekt, w którego opisie dla badania niezawodności nie zakłada się jego podziału na części (**PN**) – obiekt prosty

**System (niezawodnościowy)** – obiekt, który z punktu widzenia badania niezawodności jest opisywany jako zorganizowany zbiór elementów (**PN**) – obiekt złożony

**Obiekt naprawialny** – obiekt, dla którego jest przewidziane wykonywanie napraw (**PN**)

**Obiekt nienaprawialny** – obiekt, dla którego nie jest przewidziane wykonywanie napraw (**PN**)

**Niezawodność** – zdolność obiektu (detalu, części, elementu, przyrządu, systemu) do wypełniania zadanych funkcji i utrzymywania swoich wskaźników eksploatacyjnych w zadanych przedziałach przy zadanych warunkach eksploatacji w ciągu wymaganego czasu lub wymaganej ilości wykonanej przez obiekt pracy.

Dowolna zmiana powyższych trzech ustaleń powoduje, że powinniśmy uznać, że badaniu podlegać zaczyna inny obiekt. Jest on wtedy innym od poprzedniego obiektem z punktu widzenia badań niezawodnościowych.

Niezawodność jest cechą kompleksową i składa się na nią: nieuszkodzalność, naprawialność, trwałość i przechowywalność.

**Element obliczeń niezawodności** – obiekt (detal, element, przyrząd, linia lub kanał łączności, system lub nawet kompleks systemów), rozpatrywany w trakcie obliczeń niezawodności jako odrębna samodzielna część posiadająca swój własny liczbowy wskaźnik niezawodności.

**Sprawność** (zdolność do poprawnej pracy) – własność obiektu, przy której jest on zdolny do wypełniania zadanych funkcji z parametrami określonymi przez dokumentację techniczną.

**Trwałość** (w sensie opisowym) – własność obiektu charakteryzująca się pozostawieniem w stanie zdolności do poprawnej pracy (w stanie sprawności) z koniecznymi przerwami na obsługę techniczną i remonty aż do granicznego stanu obiektu określonego w dokumentacji technicznej.

**Nieuszkodzalność** – zdolność obiektu do nieprzerwanego zachowania zdolności do pracy

**Uszkodzenie** – zdarzenie polegające na przejściu obiektu ze stanu zdatności do stanu niezdatności **(PN)** – *zdarzenie, po wystąpieniu którego obiekt (element przyrząd, urządzenie, system) przestaje wypełniać (całkowicie lub częściowo) swoje funkcje. Uszkodzenie jest naruszeniem zdolności do poprawnej pracy.*

**Kryterium uszkodzenia** – wymagania dotyczące cechy lub zespołu cech, na których podstawie ustala się fakt powstania uszkodzenia **(PN)**

**Mechanizm uszkodzenia** – proces fizyczny, chemiczny lub inny, powodujący uszkodzenie **(PN)**

### Podstawowa klasyfikacja uszkodzeń:

Kryterium klasyfikacji	Rodzaje uszkodzeń
Stopień wpływu na zdolność do poprawnej pracy	Uszkodzenia całkowite Uszkodzenia częściowe
Fizyczny charakter powstania uszkodzenia	Uszkodzenia katastroficzne Uszkodzenia parametryczne
Związek z innymi uszkodzeniami	Uszkodzenia niezależne Uszkodzenia zależne
Charakter procesu pojawienia się uszkodzenia	Uszkodzenia nagle Uszkodzenia stopniowe
Czas występowania uszkodzenia	Uszkodzenia stale Uszkodzenia chwilowe

**Uszkodzenia katastroficzne** powodują całkowitą utratę zdolności obiektu do poprawnej pracy. Są to więc uszkodzenia całkowite. Do tego rodzaju uszkodzeń zaliczają się: zwarcia i przerwy; połamania, deformacje i zacięcia detali mechanicznych; stopniowe lub spalanie detali konstrukcyjnych lub elementów składowych.

**Uszkodzenia parametryczne** elementów składowych i detali prowadzi natomiast do częściowych uszkodzeń wyrobów złożonych z tych elementów, co powoduje pogorszenie jakości funkcjonowania wyrobów.

**Uszkodzenie niezależne** - jeżeli uszkodzenie danego elementu w układzie czy urządzeniu nie powoduje uszkodzeń innych elementów.

**Uszkodzenie zależne** - jeżeli natomiast uszkodzenie elementu powoduje uszkodzenia innych elementów lub ma wpływ na prawdopodobieństwo wystąpienia tych uszkodzeń.



**Uszkodzenia nagłe** charakteryzują się gwałtownymi zmianami zasadniczych parametrów pod wpływem różnych losowych przyczyn związanych z wewnętrznymi defektami elementów, z niewłaściwymi zmianami warunków eksploatacji lub z błędami obsługi itp.

**Uszkodzenie stopniowe** - obserwuje się stopniową, płynną zmianę parametrów, co jest wynikiem starzenia się i zużycia tak poszczególnych elementów jak i obiektu w całości.

**Uszkodzenia stałe** - występują w sposób nieodwracalny i likwidowane być mogą jedynie przez wykonanie naprawy, regulacji lub wymianę uszkodzonego elementu.

**Uszkodzenia chwilowe** natomiast charakteryzują się tym, że mogą samodzielnie ustępować bez ingerencji obsługującego personelu po zaniknięciu przyczyny, która je wywołała.

**Uszkodzenia nieodwracalne** – uszkodzeniem takim nazywa się takie przejście obiektu ze stanu sprawności do stanu niesprawności, po którym niemożliwe jest lub niecelowe naprawienie tego obiektu w określonych warunkach.

**Uszkodzenie odwracalne** - uszkodzeniem takim nazywa się takie przejście obiektu ze stanu sprawności do stanu niesprawności, po którym możliwe jest naprawienie tego obiektu w określonych warunkach.

**Uszkodzenie nieprzewidywalne** – nazywa się takie uszkodzenie, z którego wystąpieniem w trakcie użytkowania nie liczone się przy projektowaniu obiektu.

**Uszkodzenie przewidywalne** – nazywa się takie uszkodzenie, z którego wystąpieniem w trakcie użytkowania liczone się przy projektowaniu obiektu.

# **OBIEKTY TECHNICZNE**

## **KLASYFIKACJA WG. ODNOWY (NAPRAW)**

**ODNAWIALNE**  
**(NAPRAWIALNE)**

**NIEODNAWIALNE**  
**(NIENAPRAWIALNE)**

### **KLASYFIKACJA WG. PRZEZNACZENIA**

**POWSZECHNEGO UŻYTKU** – obiekt produkowany masowo, w dużych seriach, o standardowym poziomie jakości, mający zaspokoić potrzeby bardzo zróżnicowanej grupy odbiorców

**PROFESJONALNE** – obiekt o wyższym niż standardowym poziomie jakości, produkowany jednostkowo, o małych lub co najwyżej średnich seriach na potrzeby konkretnej grupy odbiorców

**SPECJALNE** – obiekt profesjonalny produkowany dla celów specjalnych (np. na potrzeby obronności kraju)

### **KLASYFIKACJA WG. WIELOKROTNOŚCI UŻYTKOWANIA**

**JEDNORAZOWEGO UŻYTKU** – obiekt tylko raz wypełnia zadanie, do realizacji którego jest przeznaczone

**WIELOKROTNEGO UŻYTKU** – obiekt przeznaczony do spełnienia swoich funkcji tyle razy, ile w ciągu całego okresu używalności okaże się to potrzebne

## **KLASYFIKACJA WG. RODZAJU PRACY**

**PRZEZNACZONE DO PRACY CIĄGŁEJ** – obciążenie obiektu jest włączone na stałe; normalnym stanem obiektu podczas eksploatacji jest praca

**PRZEZNACZONE DO PRACY OKRESOWEJ** – obciążenie obiektu włączone jest w z góry ustalonych chwilach; praca obiektu w pewnych programowanych cyklach

**PRZEZNACZONE DO PRACY IMPULSOWEJ** – okresowe obciążenie obiektu może być włączone również w chwilach losowych; normalnym stanem obiektu podczas eksploatacji jest planowany postój – oczekiwanie na realizację zadania

### **PRACA OBIEKTU**

| |

#### **CIĄGŁA**

kalendarzowy czas eksploatacji  
równa się czasowi poprawnej  
pracy do uszkodzenia

#### **OKRESOWA**

czas poprawnej pracy do  
uszkodzenia jest mniejszy od  
kalendarzowego czasu  
eksploatacji

# **WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH**

# **WSKAŹNIK NIEZAWODNOŚCI** – ilościowa miara niezawodności obiektu

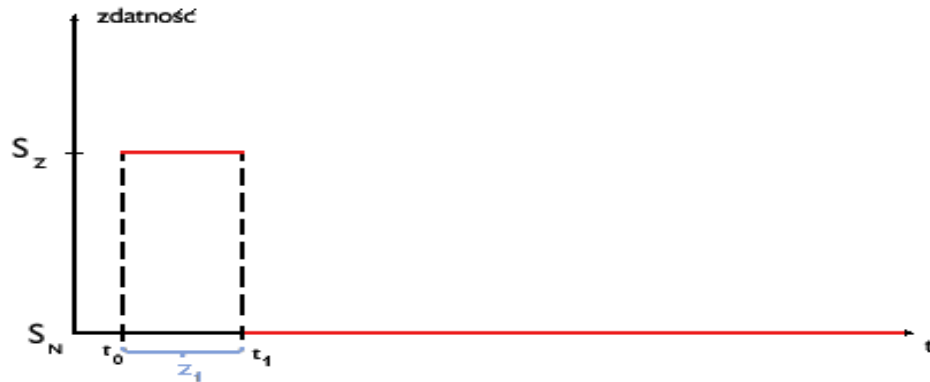
## **LICZBOWA OCENA NIEZAWODNOŚCI**

Ocena typów obiektów	Ocena rozwiązań układowo-konstrukcyjnych	Ocena materiałów, technologii produkcji, warunków użytkowania obiektów
----------------------	--	--

Probabilistyczne charakterystyki zmiennej losowej  $T$  opisującej poprawną pracę obiektu od początku jego użytkowania do chwili uszkodzenia

# OBIEKT

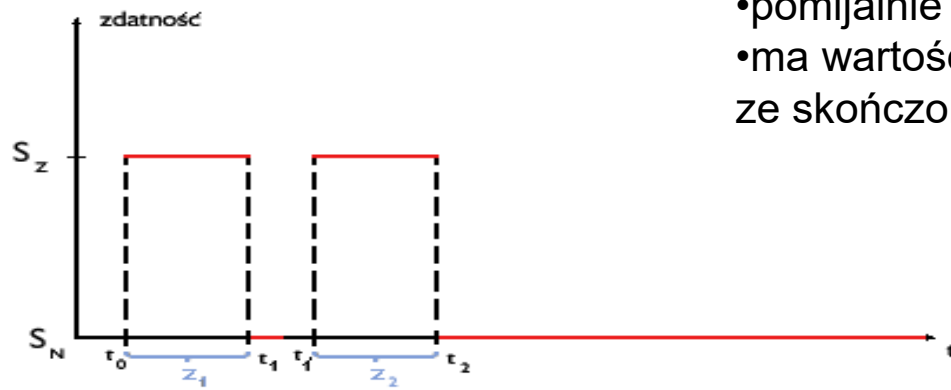
|                      |  
NIEODNAWIALNY    ODNAWIALNY



$t_i' - t_i$  – czas odnowy,  $i = 1, 2, \dots$

Jeśli  $t_i' - t_i$  jest:

- pomijalnie mały  $\rightarrow$  odnowa natychmiastowa
- ma wartość skończoną, nie pomijalną  $\rightarrow$  odnowa ze skończonym czasem odnowy



# **WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI OBIEKTÓW NIEODNAWIALNYCH**



# Miary niezawodności

Miary funkcyjne (zależne od upływającego czasu)

1. Dystrybuanta  $F(t)$  zmiennej losowej  $T$  (funkcja zawodności) – prawdopodobieństwo, że czas do uszkodzenia obiektu jest mniejszy od zadanej chwili  $t$

$$F(t) = P\{T < t\}$$

Inaczej - prawdopodobieństwo tego, że w ustalonym przedziale czasu przy określonych warunkach eksploatacyjnych wystąpi co najmniej jedno uszkodzenie. Ponieważ niesprawność i bezawaryjna praca są zdarzeniami przeciwnymi i wyłączającymi się, więc

$$F(t) = P\{T \leq t\} = 1 - R(t) \quad , \quad t \geq 0$$

$$F(0) = 0$$

# Miary niezawodności

2. Funkcja niezawodności  $R(t)$  - prawdopodobieństwo, że czas do uszkodzenia obiektu jest większy od zadanej chwili  $t$

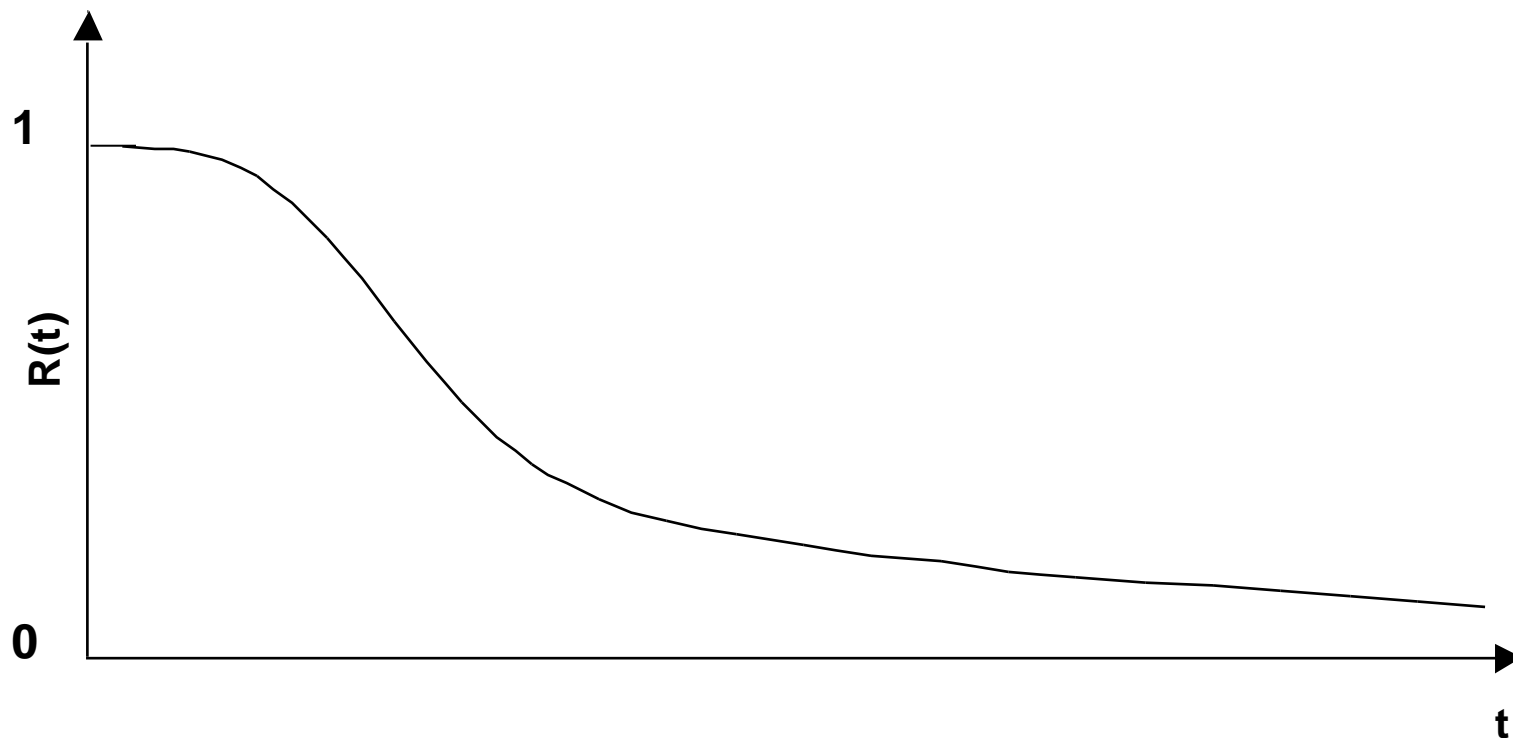
$$R(t) = P\{T \geq t\}$$

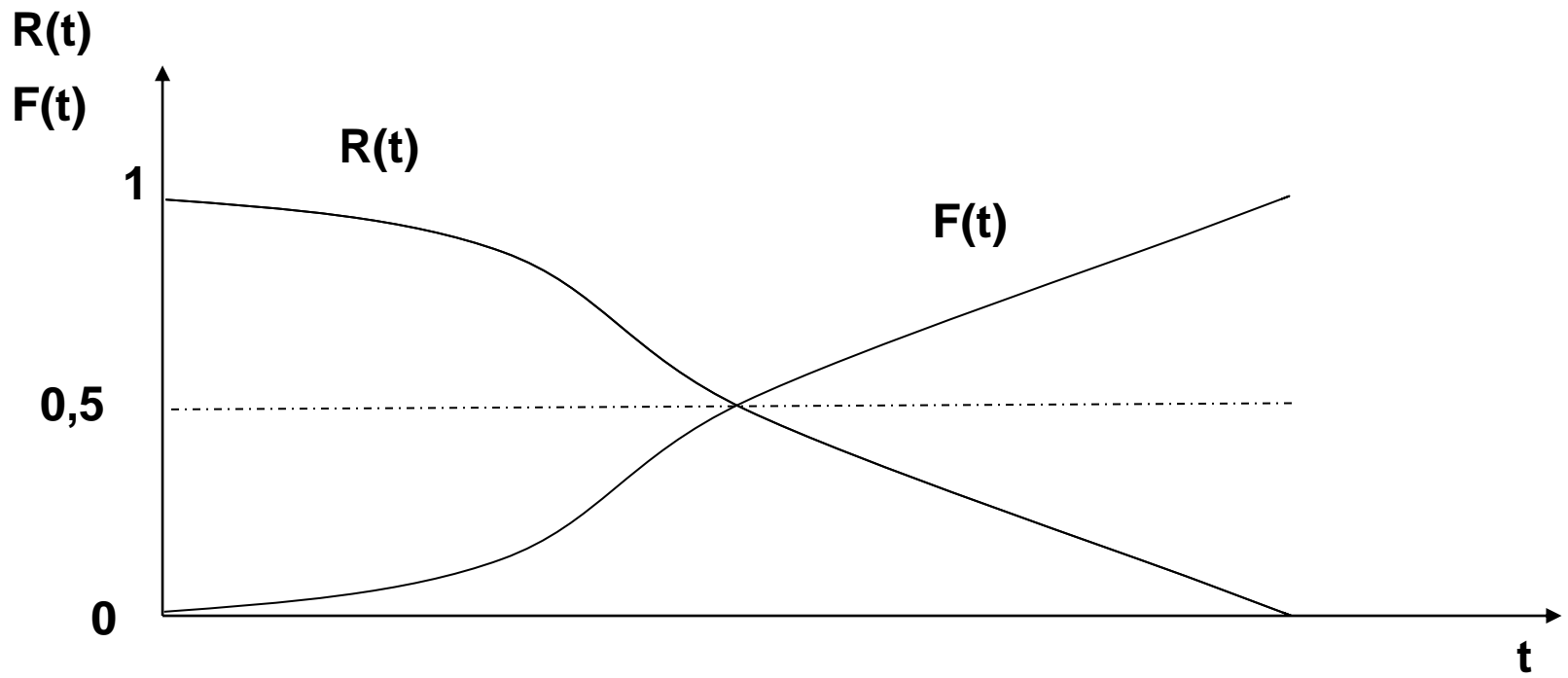
Inaczej - prawdopodobieństwo tego, że w wymaganym przedziale czasu (lub w wymaganych przedziałach trwałości) przy zadanych warunkach eksploatacji nie wystąpi ani jedno uszkodzenie. Jest to więc prawdopodobieństwo tego, że dany obiekt zachowa wartości swych parametrów w wymaganych przedziałach, w określonym czasie przy określonych warunkach eksploatacji.

$$R(t) = P\{T > t\} = 1 - F(t) \quad , t \geq 0$$

$$R(0) = 1$$

# Przebieg w czasie funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy





# Miary niezawodności

3. Gęstość zmiennej losowej  $T$  (czasu poprawnej pracy) – pokazuje rozłożenie masy prawdopodobieństwa na poszczególnych wartościach zmiennej losowej

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{t < T < t + \Delta t\}}{\Delta t}$$

Jeśli  $F(t)$  jest ciągła i różniczkowalna

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d[1 - R(t)]}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 = F(t) + R(t)$$

$$\int_0^t f(\tau) d\tau = F(t),$$

$$\int_t^{\infty} f(\tau) d\tau = R(t)$$

# Miary niezawodności

4. Funkcja  $\lambda(t)$  intensywności uszkodzeń zmiennej losowej  $T$  – warunkowa gęstość rozkładu prawdopodobieństwa czasu powstania uszkodzenia w chwili  $t$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{T \leq t + \Delta t \mid T > t\}}{\Delta t}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = -\frac{d \ln R(t)}{dt}$$

## Wzór Wienera

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$$

## Wykładnicze prawo niezawodności

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

# Miary niezawodności

Miary liczbowe (niezależne od upływającego czasu)

5. Wartość oczekiwana  $ET$  zmiennej losowej  $T$

$$ET = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Uwaga: całkujemy od 0 – dodatnie zmienne losowe

9. Wariancja zmiennej losowej  $T$  – miara rozrzutu wokół wartości oczekiwanej

$$VT = \int_0^{\infty} (t - T)^2 f(t) dt$$

10. Odchylenie standardowe

$$\sigma T = \sqrt{\int_0^{\infty} (t - T)^2 f(t) dt} = \sqrt{VT}$$

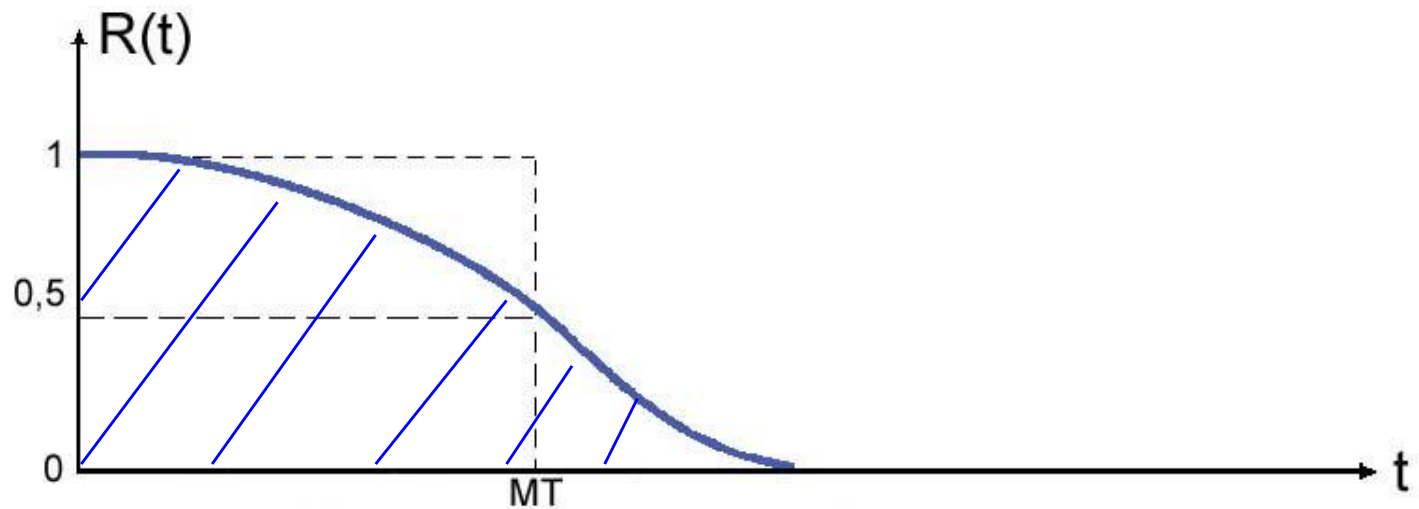


Z wzoru Wienera mamy

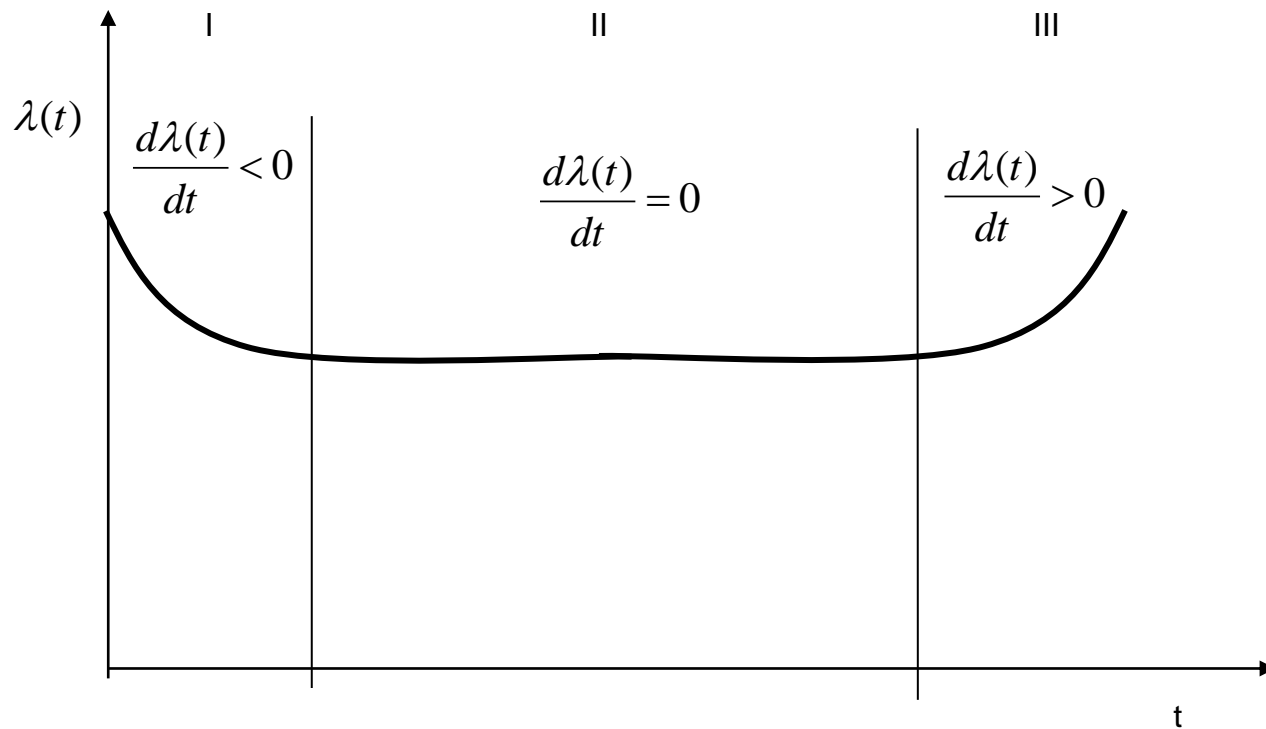
$$ET = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} dt$$

W przypadku stałej intensywności uszkodzeń  $\lambda(t)=\text{const}=\lambda$

$$ET = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$



# Wykres intensywności uszkodzeń



# Przedział pierwszy

- W przedziale pierwszym intensywność uszkodzeń jest funkcją malejącą. Jest to tzw. wstępny okres eksploatacji, zwany też okresem adaptacji i docierania, w czasie którego uszkadzają się elementy o niskiej niezawodności. W okresie tym ujawniają się ukryte wady materiałów, błędy konstrukcji, montażu, niedopatrzenia kontroli, usterki powstałe w czasie transportu i przechowywania oraz inne tego typu usterki obiektu. Na uszkodzenia mają też wpływ umiejętności użytkownika, który uczy się obsługiwać urządzenie (adaptacja).

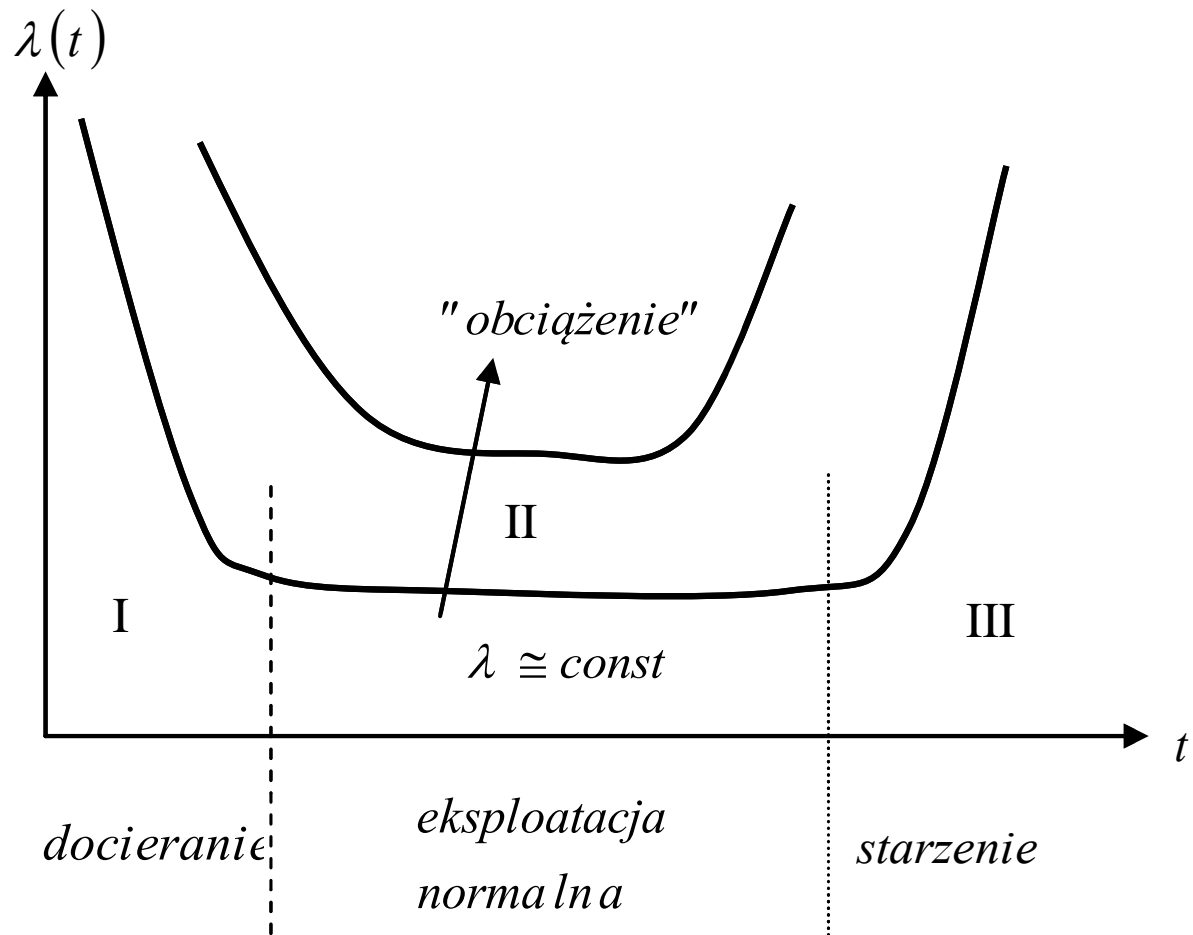
## Przedział drugi

- W przedziale drugim intensywność uszkodzeń jest stała. Jest to tzw. *okres normalnej eksploatacji*, w którym dominują uszkodzenia spowodowane przez czynniki losowe, np. nagłe przeciążenie w trudnych warunkach pracy. Uszkodzenia takie można by było wykluczyć biorąc, pod uwagę w obliczeniach i projektowaniu granicznie ciężkie warunki eksploatacji. Prowadziłoby to jednak do zbyt dużych ciężarów własnych maszyn. Długość tego okresu zależy od warunków eksploatacji i konserwacji urządzeń.

## Przedział trzeci

- W przedziale trzecim intensywność uszkodzeń jest funkcją rosnącą. Spowodowane jest to głównie procesami zużyciowo-starzeniowymi. W elementach urządzeń długo eksploatowanych zachodzą nieodwracalne zmiany fizyczne i chemiczne, zmniejszające ich wytrzymałość. Na skutek zużycia warstwy wierzchniej elementów współpracujących powiększają się luzy, a osłabione elementy ulegają deformacjom. Jest to więc okres zwiększania się prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń.

# Krzywa „życia”



# Przykładowe miary niezawodności w informatyce

Miary stosowane w odniesieniu do hardware'u są nieprzydatne dla oprogramowania.

- Oparte o niezawodność komponentów które w razie awarii można zastąpić nowymi
- Zakłada się tu że projekt jest poprawny

Awarie oprogramowania są zawsze konsekwencjami błędów w projekcie

Często system kontynuuje działanie mimo wystąpienia awarii  
– w przeciwieństwie do systemów hardware'owych

## **1. Prawdopodobieństwo awarii przy żądaniu usługi (ang. probability of failure on demand – POFOD)**

- Miara prawdopodobieństwa wystąpienia awarii przy zażądaniu usługi od systemu
- POFOD = 0.005 oznacza że na każde 1000 żądań 5 z nich zakończy się awarią
- Stosowana dla systemów o działaniu ciągłym i wysokiej niezawodności

## **2. Odsetek wystąpień awarii (ang. rate of fault occurrence - ROCOF)**

- Częstość wystąpienia nieoczekiwanego zachowania systemu
- ROCOF 0.01 oznacza że w czasie każdych 100 jednostek czasowych funkcjonowania systemu zdarzy się 1 awaria
- Stosowana dla systemów operacyjnych oraz dla systemów przetwarzania transakcyjnego



### **3. Średni czas wystąpienia awarii (ang. mean time to failure – MTTF)**

- Czas pomiędzy zaobserwowanymi awariami
- MTTF = 200 oznacza że średni czas pomiędzy zaobserwowanymi awariami wynosi 200 jednostek czasowych
- Stosowana dla systemów z długimi transakcjami

### **4. Dostępność (ang. availability)**

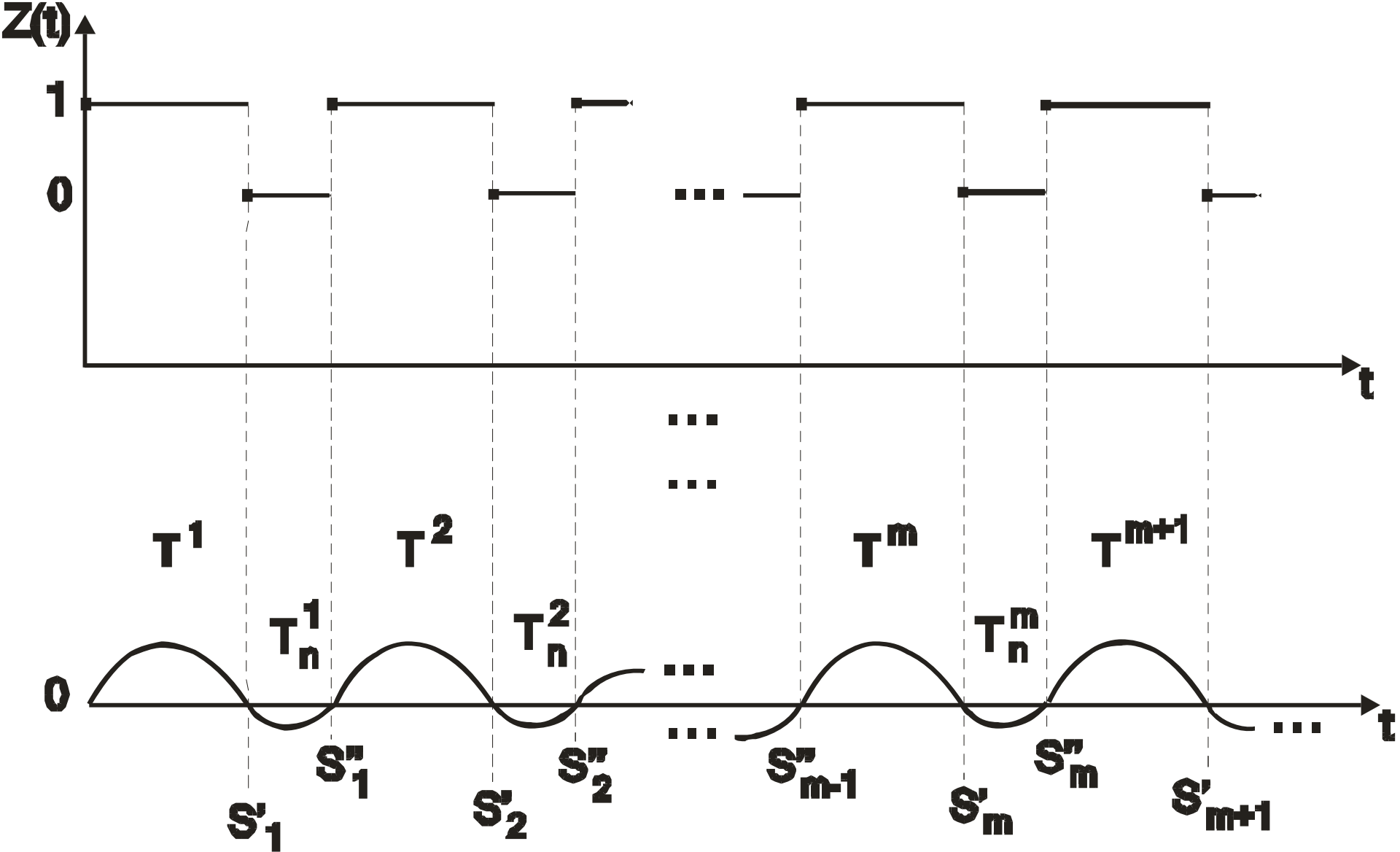
- Miara czasu ciągłej dostępności systemu – uwzględnia czas potrzebny na restart bądź naprawę systemu po awarii
- Dostępność = 0.998 oznacza że system jest dostępny dla użytkowników w 998 z każdych 1000 jednostek czasowych
- Stosowana dla systemów pracy ciągłej, np. central telefonicznych

# **WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI OBIEKTÓW ODNAWIALNYCH**

Zakłada się, że w chwili początkowej  $t=0$  UE jest zdadne i rozpoczyna pracę. Po każdym uszkodzeniu natychmiast przystępuje się do naprawy UE i po jej zakończeniu UE natychmiast rozpoczyna pracę, tzn. UE pracuje bez planowych postojów.

Przez **czas naprawy** UE rozumie się cały okres postoju nieplanowanego, awaryjnego, licząc od momentu uszkodzenia do chwili ponownego włączenia UE do pracy.

Zatem czas naprawy zawiera tzw. czas naprawy **czynnej** oraz **biernej**.



Rys. Przykład realizacji strumienia uszkodzeń i napraw  $\{T^1, T^1_n, T^2, T^2_n, \dots\}$   
 oraz procesu funkcjonowania  $\{Z(t) : t \geq 0\}$

## Najważniejsze wskaźniki niezawodnościowe naprawianego obiektu z niezerowym czasem naprawy:

- Funkcja niezawodności  $R(t)$  – prawdopodobieństwo, że UE nie ulegnie uszkodzeniu w okresie  $[0, t]$ .

$$R(t) = \Pr\{T^1 > t\} = 1 - F_1(t)$$

- Średni czas poprawnej pracy do pierwszego uszkodzenia  $\check{T}^1$  lub MTFF.

$$MTFF = \check{T}^1 = ET^1$$

➤ Liczba uszkodzeń w przedziale czasu  $[0, t]$   $v'(t)$ .

$$v'(t) = \max \{m \geq 0: S'_m \leq t\}, S'_0 = 0$$

Proces stochastyczny  $\{v'(t): t \geq 0\}$  nazywany jest procesem uszkodzeń UE.

➤ Średnia liczba uszkodzeń w przedziale czasu  $[0, t]$   $H'(t)$ .

$$H'(t) = E v'(t)$$

- Liczba napraw zakończonych w przedziale czasu  $[0, t]$   $v''(t)$

$$v''(t) = \max \{m \geq 0: S''_m \leq t\}, S''_0 = 0$$

Proces stochastyczny  $\{v''(t) : t \geq 0\}$  nazywany jest procesem napraw UE.

- Średnia liczba zakończonych napraw w przedziale  $[0, t]$   $H''(t)$
- $$H''(t) = E v''(t)$$

➤ Niestacjonarny współczynnik gotowości operacyjnej

$K_{g0}(t, x)$ . Wielkość  $K_{g0}(t, x)$  jest równa prawdopodobieństwu zdatności na odcinku czasu  $[t, t+x]$ :

$$K_{g0}(t, x) = \Pr\{Z(u) = 1, u \in [t, t+x]\} = \sum_{k=0}^{\infty} \Pr\{S''_k \leq t \leq t+x < S'_{k+1}\}$$

Niestacjonarny współczynnik gotowości operacyjnej, zwany również przedziałową funkcją niezawodności wyraża prawdopodobieństwo tego, że UE okaże się zdatne w chwili  $t$  i przepracuje bezawaryjnie przez czas  $x$ , tzn. do chwili  $t+x$ .



➤ Współczynnik gotowości operacyjnej (stacjonarny)  $K_{g0}(x)$

Wielkość  $K_{g0}(x)$  jest równa granicznej wartości  $K_{g0}(t, x)$  przy  $t \rightarrow \infty$  i wyraża prawdopodobieństwo tego, że UE okaże się zdadne w warunkach stacjonarnych, tzn. w bardzo odległej od początku użytkowania UE chwili  $t \rightarrow \infty$ , i przepracuje bezawaryjnie przez czas  $x$ :

$$K_{g0}(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} K_{g0}(t, x)$$

➤ Niestacjonarny współczynnik gotowości  $K_g(t)$

Wielkość  $K_g(t)$  jest równa prawdopodobieństwu zdatności UE w chwili  $t$ :

$$K_g(t) = \Pr\{Z(t) = 1\} = K_{g0}(t, 0)$$

Niestacjonarny współczynnik gotowości nazywany jest również funkcją gotowości i oznaczane przez  $A(t)$  lub  $A_v(t)$ .

➤ Współczynnik gotowości (stacjonarny)  $K_g$

Współczynnik gotowości  $K_g$  jest równy granicznej wartości  $K_g(t)$  przy  $t \rightarrow \infty$ , czyli prawdopodobieństwu tego, że UE okaże się zdatne w warunkach stacjonarnych, tzn. w bardzo odległej chwili  $t \rightarrow \infty$ :

$$K_g = \lim_{m \rightarrow \infty} K_g(t) = K_{g0}(0)$$

➤ Średni czas pracy między uszkodzeniami  $\check{T}$ :

$$\check{T} = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m} E(T^1 + T^2 + \dots + T^m)$$

Używane są również nazwy: średni czas zdatności, średni okres zdatności, średni okres międzyawaryjny oraz oznaczenia:  $T_0$ ,  $T_w$ , MTBF, MUT (*Mean Up Time*).

➤ Średni czas naprawy  $\check{T}_n$ :

$$\check{T}_n = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m} E(T_n^1 + T_n^2 + \dots + T_n^m)$$

Używana jest również nazwa: średni czas niezdatności oraz oznaczenia:  $T_0$ , MTTR, MTR, (*Mean Down Time*).

# **ROZKŁADY PRAWDOPODOBIENSTWA ZMIENNYCH LOSOWYCH STOSOWANE W NIEZAWODNOŚCI**



# ROZKŁAD WYKŁADNICZY

Rozkład wykładowy odznacza się brakiem pamięci. Nieuszkodzony obiekt używany jest tak samo niezawodny jak nowy. W modelu tym nie bierze się pod uwagę zmian zachodzących w obiekcie na skutek procesów adaptacji i starzenia się, np. w wyniku zmęczenia i ubytku materiału. Obiektami, w odniesieniu do których można stosować rozkład wykładowy, są obiekty o uszkodzeniach czysto przypadkowych.

Intensywność uszkodzeń zmiennej losowej T jest niezależna od czasu:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const}$$

Wtedy

$$R(t) = \exp(-\lambda t), \quad R(0) = 1$$

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad \text{-gęstość prawdopodobieństwa,}$$

$$\Lambda(t) = \lambda t \quad \text{-skumulowana intensywność uszkodzeń,}$$

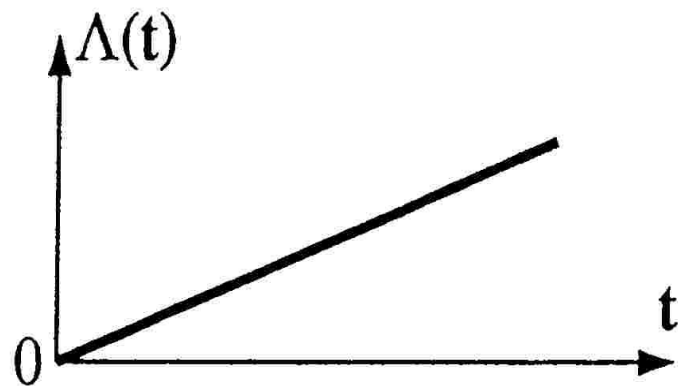
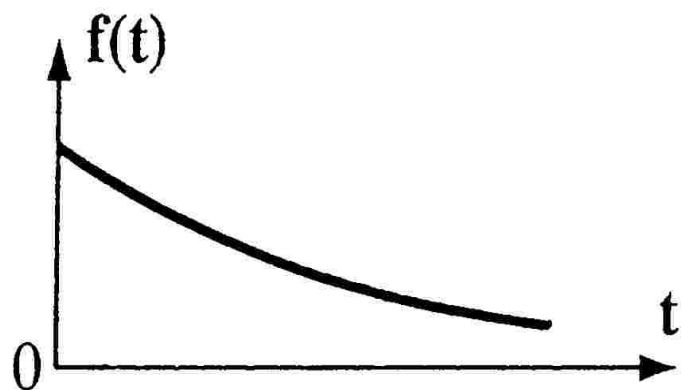
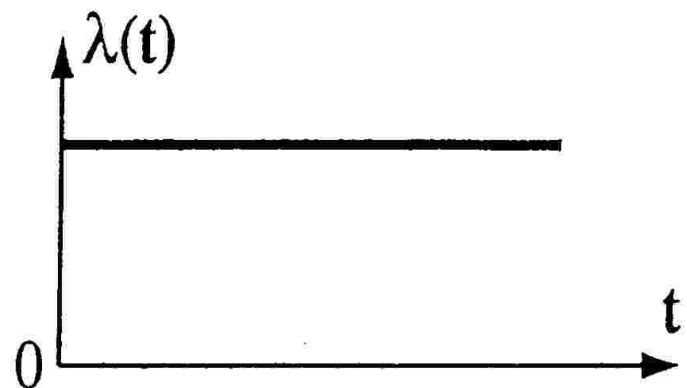
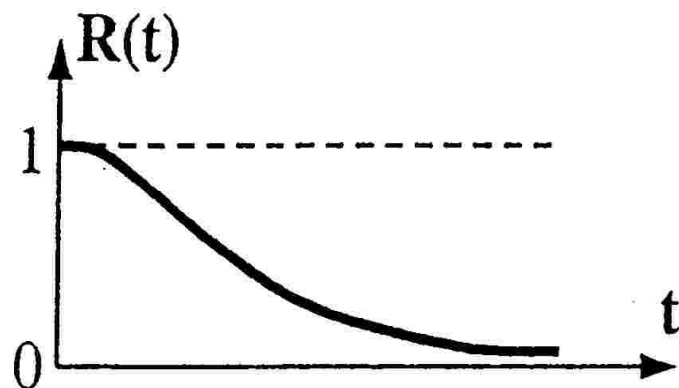
$$ET = \lambda^{-1} \quad \text{-oczekiwany czas zdatności,}$$

$$VT = \lambda^{-2} \quad \text{-wariancja,}$$

$$M_e = \lambda^{-1} \ln 2 \lambda \quad \text{-mediana,}$$

$$M_o = 0 \quad \text{-moda.}$$

# CHARAKTERYSTYKI FUNKCYJNE ROZKŁADU WYKŁADNICZEGO





# ROZKŁAD WEIBULLA

Rozkład Weibulla jest bardziej ogólny niż wykładniczy. Stosujemy go gdy intensywność uszkodzeń jest zmienną o przebiegu monotonicznym. Rozkładem tym opisujemy między innymi trwałość zmęczeniową materiałów i konstrukcji mechanicznych. Intensywność uszkodzeń określa wzór:

$$\lambda(t) = \alpha\beta t^{(\alpha-1)}$$

gdzie

$(\alpha, \beta > 0)$  – stałe liczby,

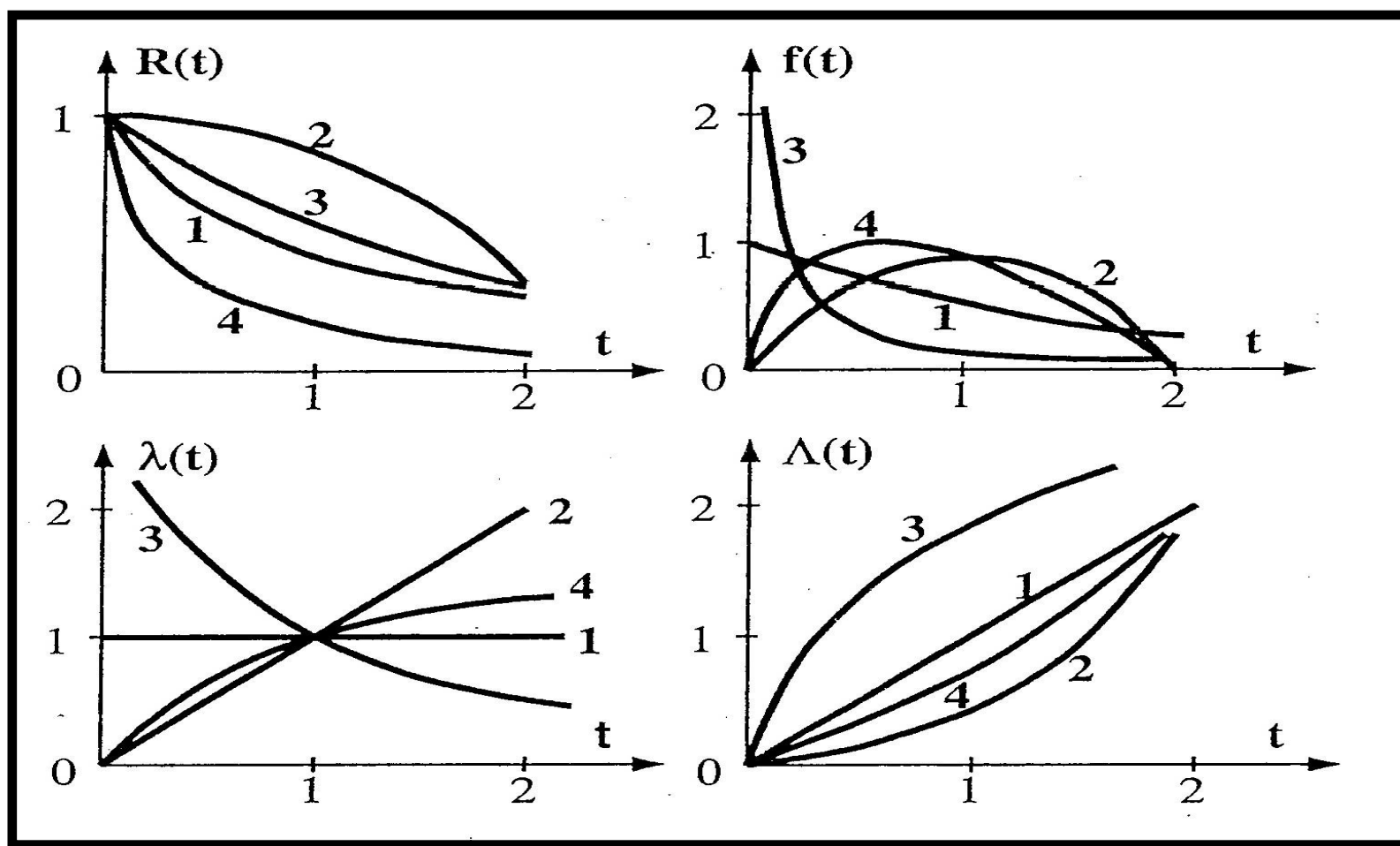
$\alpha$  – parametr kształtu,

$\beta$  – parametr skali.

Stosowany jest również trójparametryczny rozkład Weibulla, gdzie uszkodzenie obiektu może wystąpić dopiero po upływie początkowej bezawaryjnej eksploatacji w czasie  $[0, t_0)$ .

# RODZINA ROZKŁADÓW WEIBULLA

1-wykładniczy, 2-Rayleigha, 3-o malejącej intensywności uszkodzeń, 4-o rosnącej intensywności uszkodzeń



# CHARAKTERYSTYKI FUNKCYJNE I LICZBOWE

$$R(t) = \exp(-\beta t^\alpha),$$

$$F(t) = 1 - \exp(-\beta t^\alpha),$$

$$f(t) = \alpha \beta t^{(\alpha-1)} \exp(-\beta t^\alpha),$$

$$\Lambda(t) = \beta t^\alpha,$$

$$ET = \Gamma(1 + \frac{1}{\alpha}) \beta^{-\frac{1}{\alpha}}$$

Gdzie  $\Gamma(z)$  – wartość funkcji gamma Eulera.

$$\Gamma(z) = \int_0^\infty t^{z-1} e^{-t} dt$$

Gdy  $\alpha = 1$  otrzymuje się rozkład wykładniczy, natomiast gdy  $\alpha=2$  rozkład Rayleigha.

# CHARAKTERYSTYKI FUNKCYJNE I LICZBOWE cd.

$$VT = \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right] \beta^{-\frac{2}{\alpha}} - \text{wariancja}$$

$$M_e = \sqrt[\alpha]{\frac{\ln 2}{\beta}} - \text{mediana}$$

$$t_p = \sqrt[\alpha]{\frac{-\ln(1-p)}{\beta}} - \text{kwantyl}$$

$$\lambda(t) = \begin{cases} \alpha\beta(t - t_0)^{\alpha-1} & \text{dla } t > t_0 \\ 0 & \text{dla } t < t_0 \end{cases} - \text{trójparametryczny}$$

rozkład Weibulla

# ROZKŁAD NORMALNY

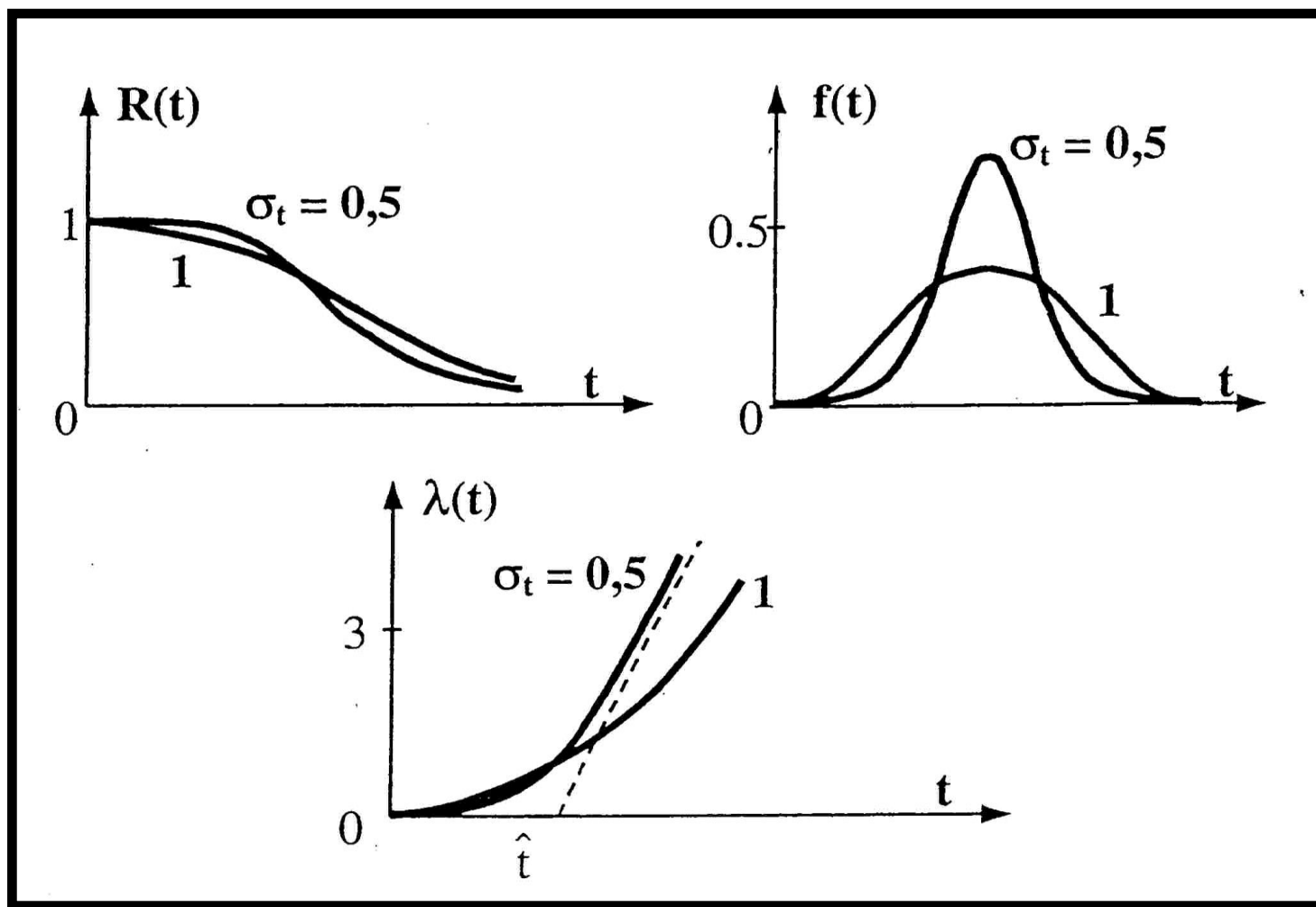
Niezawodnościowe charakterystyki funkcyjne rozkładu normalnego określone są wzorami:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(t - \hat{t})^2}{2\sigma_t^2} \right], \quad t \geq 0$$

$$Q(t) = F(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp \left[ -\frac{(x - \hat{t})^2}{2\sigma_t^2} \right] dx, \quad 0 < t < \infty,$$

$$R(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_t^\infty \exp \left[ -\frac{(x - \hat{t})^2}{2\sigma_t^2} \right] dx; \quad t \geq 0.$$

# CHARAKTERYSTYKI FUNKCYJNE ROZKŁADU NORMALNEGO



# ROZKŁAD LOGARYTMICZNO-NORMALNY

Zmienna losowa  $T$  przyjmująca wartości dodatnie ma rozkład logarytmiczno-normalny wówczas, gdy jej logarytm (naturalny lub dziesiętny) ma rozkład normalny. Rozkład logarytmiczno-normalny można stosować w przypadku badania niezawodności obiektów, których uszkodzenia powodowane są zwiększającymi się stopniowo pęknięciami zmęczeniowymi.

$$Y = \lg T,$$

$$R(t) = 1 - F_0 \left( \frac{\lg m - \lg t}{\sigma_y} \right),$$

gdzie:  $F_0$  - dystrybuanta standaryzowanego rozkładu  $N(0,1)$ ,  
 $\lg m$  - wartość oczekiwana zmiennej losowej  $Y$ ,  
( $m$  - nie jest wartością oczekiwaną zmiennej  $T$ ),  
 $\sigma_y$  - odchylenie standardowe zmiennej losowej  $Y$ ,

$$\hat{t} = m \exp(2,651 \sigma_y^2),$$

$$\sigma_t^2 = \hat{t}^2 \left[ \left( \frac{\hat{t}}{m} \right)^2 - 1 \right].$$

# **TYPY STRUKTUR NIEZAWODNOŚCIOWYCH**



# Ścieżki zdatności i cięcia w systemie

Podzbiór  $W \subset E$  elementów systemu nazywa się ścieżką zdatności, jeśli przy zdatności wszystkich elementów należących do  $W$  system jest w stanie zdatności niezależnie od stanu pozostałych elementów systemu.

Ścieżka zdatności jest minimalną, jeśli nie zawiera żadnej innej ścieżki zdatności.

Minimalna formuła alternatywna (mfa) określa jednoznacznie zbiór wszystkich minimalnych ścieżek zdatności - każdemu składnikowi sumy (iloczynowi) odpowiada wzajemnie jednoznacznie minimalna ścieżka zdatności.

# Ścieżki zdatności i cięcia w systemie

Podzbiór  $C \subset E$  elementów systemu nazywa się cięciem (przekrojem), jeśli przy niezdatności wszystkich elementów należących do  $C$  system jest w stanie niezdatności niezależnie od stanu pozostałych elementów systemu.

Cięcie jest minimalne, jeśli nie zawiera żadnych innych cięć.

Minimalna formuła koniunkcyjna (mfk) określa jednoznacznie zbiór wszystkich minimalnych cięć - każdemu czynnikowi (sumie) odpowiada wzajemnie jednoznacznie minimalne cięcie.

# Elementarne struktury niezawodnościowe

Wyróżnia się niektóre podstawowe struktury, które mogą być podstrukturami bardziej złożonych struktur.

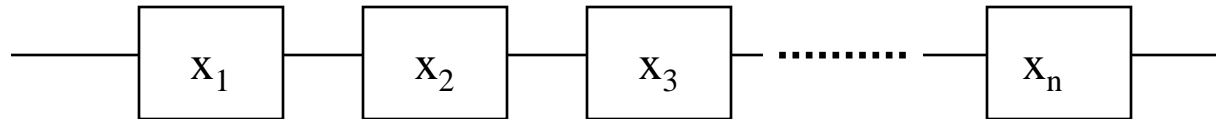
1. Struktura szeregową - gdy niezdatność dowolnego elementu struktury powoduje niezdatność całego systemu

$$f^{(n)}(x) = \prod_{i=1}^n x_i$$

Funkcja dualna dla struktury szeregowej ma postać

$$f_D^{(n)}(x) = \sum_{i=1}^n x_i$$

Schemat blokowy dla struktury szeregowej ma postać



# Elementarne struktury niezawodnościowe

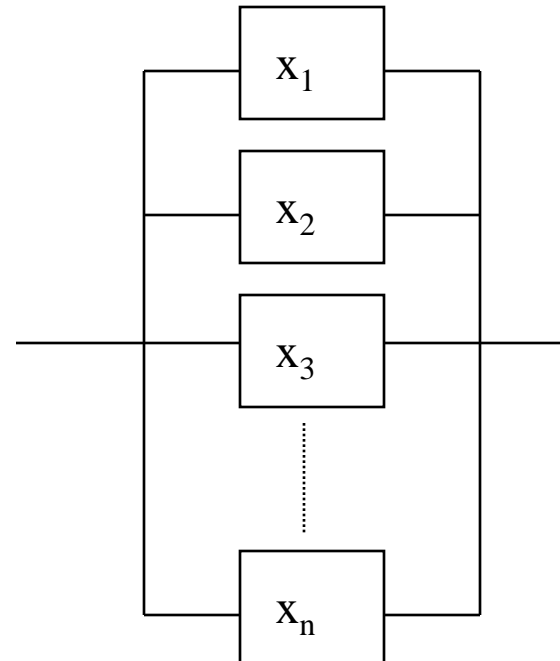
2. Struktura równoległa - gdy zdatność dowolnego elementu struktury powoduje zdatność całego systemu

$$f^{(n)}(x) = \sum_{i=1}^n x_i$$

Funkcja dualna dla struktury równoległej ma postać

$$f_D^{(n)}(x) = \prod_{i=1}^n x_i$$

Schemat blokowy dla struktury równoległej ma postać



# Elementarne struktury niezawodnościowe

3. Struktury progowe (tak zwane struktury „k z n”) - gdy zdatność dowolnych co najmniej k elementów struktury powoduje zdatność całego systemu.

Przykładem może być struktura progowa „2 z 3”

$$f^{(3)}(x) = x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3$$

Funkcja dualna dla tej struktury ma postać

$$f_D^{(3)}(x) = (x_1 + x_2)(x_1 + x_3)(x_2 + x_3)$$

Ogólny schemat blokowy dla struktury progowej nie istnieje !

Oznacza to, że nie zawsze można skonstruować schematy blokowe dla struktur niezawodnościowych.

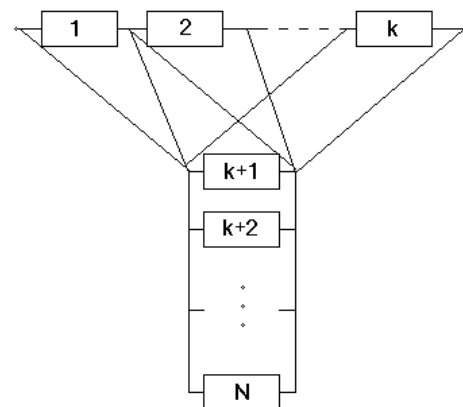
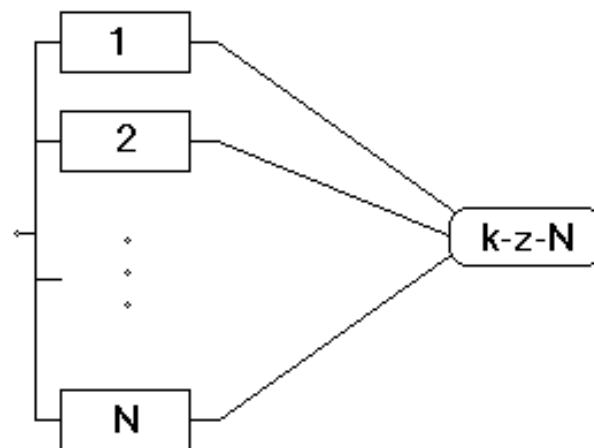
Uwaga: zauważmy, że

struktura progowa „1 z n” jest strukturą	równoległą
struktura progowa „n z n” jest strukturą	szeregową

Ilustracja struktury typu  $k$ -z- $N$

z wykorzystaniem  
przełącznika progowego  
typu  $k$ -z- $N$

jako kombinacja  
struktury szeregowej i  
równoległej



# Obliczanie prawdopodobieństwa zdatności systemu

## 1. Struktury szeregowe (elementy nieodnawialne proste)

Niech  $T_i$  oznacza czas zdatności elementu  $i$ -tego, natomiast  $T_s$  oznacza czas zdatności systemu. Wtedy mamy

$$T_s = \min\{T_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad \text{co daje w efekcie}$$

$$R_s(t) = P\{T_s \geq t\} = P\{\min\{T_1, T_2, \dots, T_n\} \geq t\}$$

co dla niezależności uszkodzeń elementów powoduje równość powyższego z

$$\begin{aligned} P\{\min\{T_1, T_2, \dots, T_n\} \geq t\} &= P\{T_1 \geq t, T_2 \geq t, \dots, T_n \geq t\} = \\ &= \prod_{i=1}^n P\{T_i \geq t\} = \prod_{i=1}^n R_i(t) = R_s(t) \end{aligned}$$

Z kolei dla dystrybuant otrzymujemy formułę postaci

$$F_s(t) = P\{T_s < t\} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - F_i(t)]$$

# Obliczanie prawdopodobieństwa zdatności systemu

## 2. Struktury równoległe (elementy nieodnawialne proste)

Niech  $T_i$  oznacza czas zdatności elementu  $i$ -tego, natomiast  $T_s$  oznacza czas zdatności systemu. Wtedy mamy

$$T_s = \max\{T_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad \text{co daje w efekcie}$$

$$F_s(t) = P\{T_s \geq t\} = P\{\max\{T_1, T_2, \dots, T_n\} \geq t\}$$

co dla niezależności uszkodzeń elementów powoduje równość powyższego z

$$\begin{aligned} P\{\max\{T_1, T_2, \dots, T_n\} \geq t\} &= P\{T_1 \geq t, T_2 \geq t, \dots, T_n \geq t\} = \\ &= \prod_{i=1}^n P\{T_i \geq t\} = \prod_{i=1}^n F_i(t) = F_s(t) \end{aligned}$$

Z kolei dla funkcji niezawodności otrzymujemy formułę postaci

$$R_s(t) = P\{T_s \geq t\} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)]$$



# Obliczanie prawdopodobieństwa zdatności systemu

## 3. Struktury progowe (elementy nieodnawialne proste)

Dla przypadku ogólnego struktur progowych musimy obliczyć wszystkie możliwe kombinacje dla poprawnych co najmniej  $k$  elementów z  $n$  możliwych :

$$R_s(t) = P\{T_s \geq t\} = \sum_{i=k}^n \left[ \sum_{(i,j) \in D} \left( \prod_{c \in D_i} R_c(t) \prod_{l \in D_j} F_l(t) \right) \right]$$

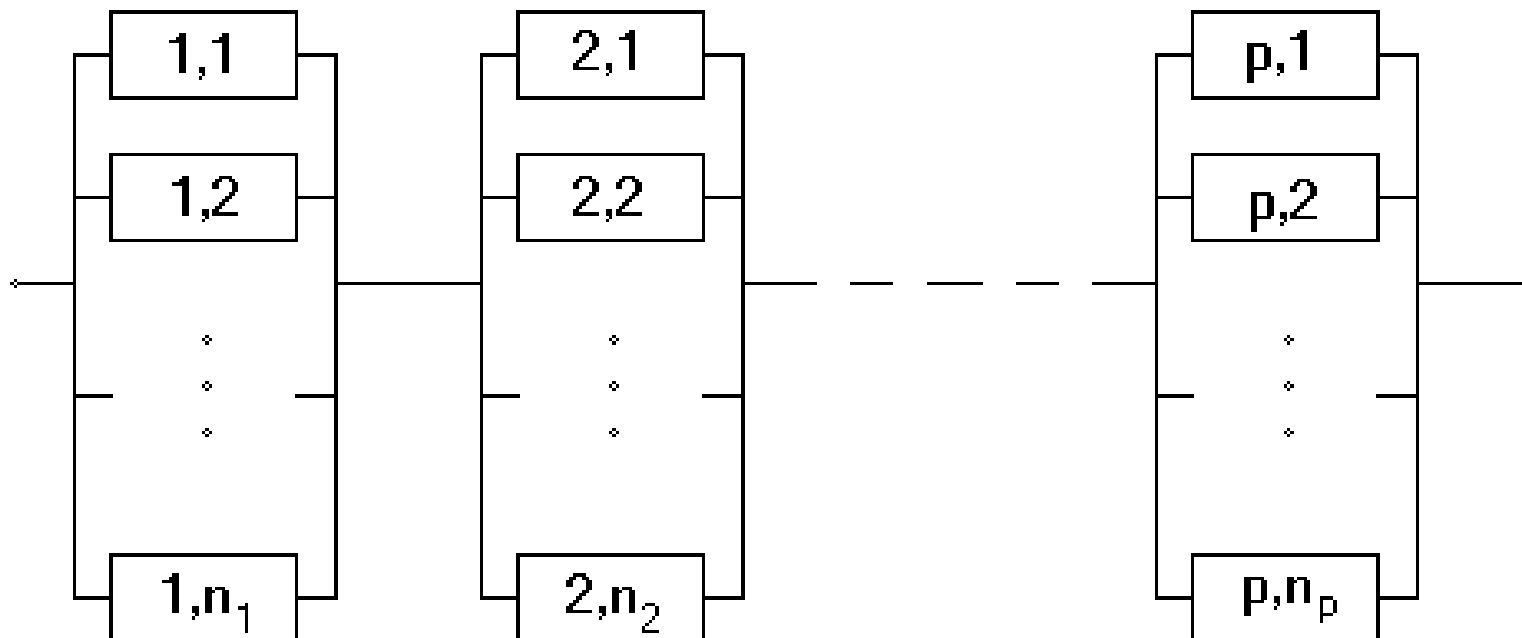
gdzie  $(i,j) \in D$  oznacza wszystkie możliwe kombinacje par  $(i,j)$  spełniające  $i+j=n$  oraz założenie, że  $i$  oznacza liczbę elementów zdatnych, a  $j$  liczbę elementów niezdatnych, natomiast zbiory  $D_i$  oraz  $D_j$

$$\overline{\overline{D}}_i = i, \quad \overline{\overline{D}}_j = j, \quad D_i \cup D_j = \{1, 2, \dots, n\}$$

# Obliczanie prawdopodobieństwa zdatności systemu

## 4. Struktury szeregowo-równoległe lub równoległo-szeregowo

- a) System ma **strukturę szeregowo-równoległą**, jeśli jest połączeniem szeregowym, w sensie niezawodności, układów o strukturach równoległych, tzn. system ulega uszkodzeniu, gdy uszkodzą się wszystkie części składowe jednego z układów systemu



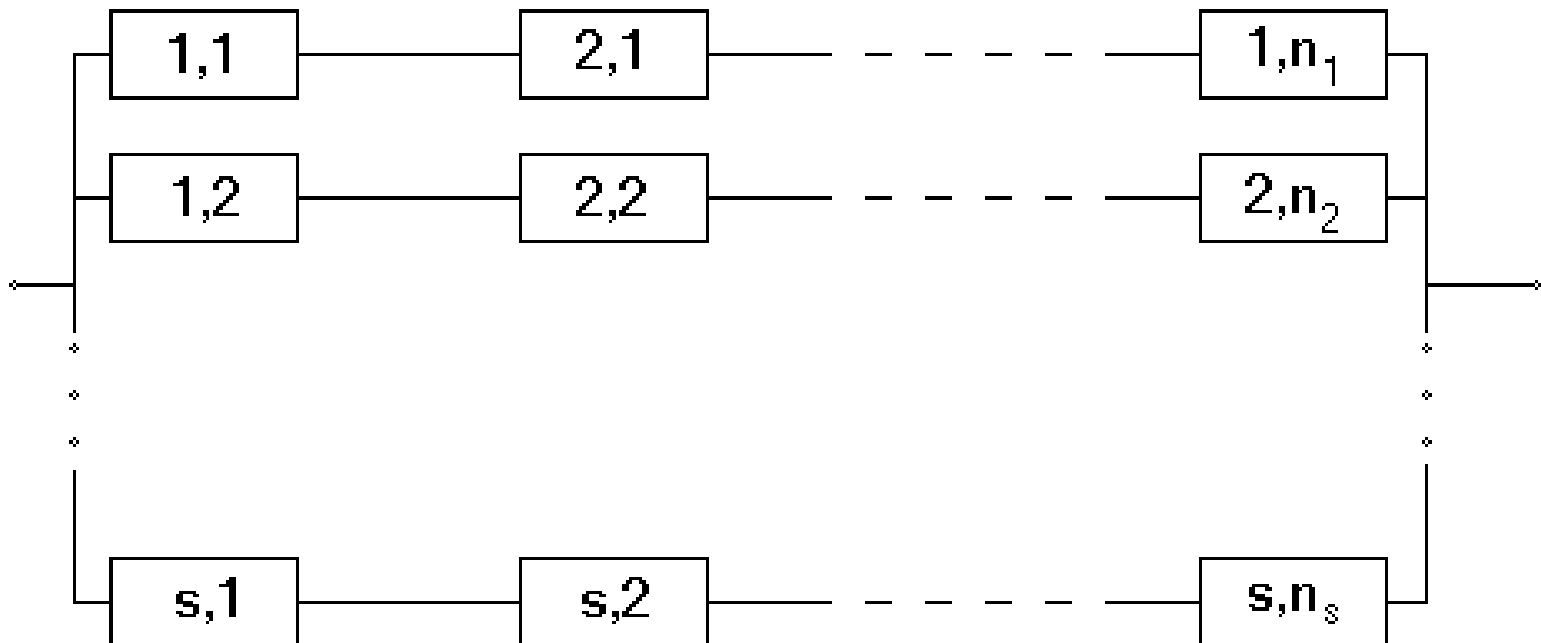
Funkcja niezawodności systemu o strukturze szeregowo–równoległej dana jest wzorem:

$$R(t) = \prod_{r=1}^p R_{(r)}(t) = \prod_{r=1}^p \left(1 - \prod_{i=1}^{n_r} (1 - R_{r,i}(t))\right)$$

gdzie:

$R_{(r)}(t)$  oznacza funkcję niezawodności  $r$ -tego układu złożonego z  $n_r$  części składowych  $e_{r,1}, e_{r,2}, \dots, e_{r,n_r}$ , połączonych równolegle, natomiast  $R_{r,i}(t)$  oznacza funkcję niezawodności części składowej  $e_{r,i}$ ,  $r = 1, p, i = 1, n_r$ .

b) System ma **strukturę równoległo–szeregową**, jeśli jest połączeniem równoległym, w sensie niezawodności, układów o strukturach szeregowych, tzn. system jest uszkodzony, gdy w każdym układzie uszkodzona jest co najmniej jedna część składowa



Funkcję niezawodności systemu o strukturze równoległo–szeregowej określa wzór:

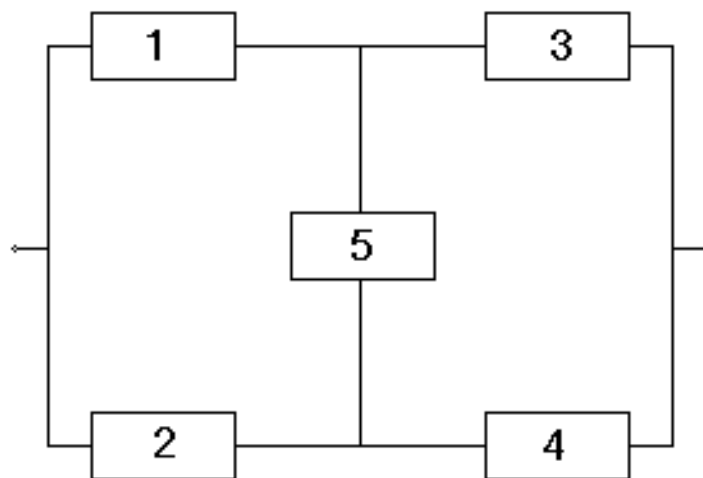
$$R(t) = 1 - \prod_{r=1}^s (1 - R_{(r)}(t)) = 1 - \prod_{r=1}^s (1 - \prod_{i=1}^{n_r} R_{r,i}(t))$$

gdzie:

$R_{(r)}(t)$  – funkcja niezawodności  $r$ - tego układu złożonego z  $n_r$  części składowych  $e_{r,1}, e_{r,2}, \dots, e_{r,n_r}$ , połączonych szeregowo,  
 $R_{r,i}(t)$  funkcja niezawodności części składowej  $e_{r,i}$ ,  $r = 1, s, i = 1, n_r$ .

Często spotyka się w praktyce system, których struktura niezawodnościowa należy do klasy struktur mieszanych. Przykładem takiej struktury jest tzw. **struktura mostkowa**

System złożony z pięciu części składowych  $e_1, e_2, \dots, e_5$  **ma strukturę mostkową** ( $e_1$  i  $e_2$  nazywane są częściami wejściowymi,  $e_3$  i  $e_4$  - wyjściowymi, a  $e_5$  - częścią mostkującą), jeśli system jest zdatny wtedy i tylko wtedy, gdy zdatne są części składowe  $e_1, e_3$  lub  $e_2, e_4$ , lub  $e_1, e_5, e_4$  lub  $e_2, e_5, e_3$



# Obliczanie prawdopodobieństwa zdatności systemu

## 5. Struktury z elementami prostymi odnawialnymi o niezerowej odnowie

Jeśli pewne elementy (lub nawet wszystkie) są elementami odnawialnymi, to stosujemy podstawienie

$$R_i(t) \Rightarrow k_{g_i}(t), \quad F_i(t) \Rightarrow 1 - k_{g_i}(t) \quad \text{i-te elementy są odnawialne}$$

**Ciąg dalszy Przykładu** (jeśli elementy o numerach 1, 5 i 6 są odnawialne, to system jest nieodnawialny (w końcu uszkodzą się elementy 2, 3 oraz 4 i nie będzie dla dużych  $t$  żadnej ścieżki zdatności o zdatnych wszystkich elementach). Podsystemy I i II są obiektami nieodnawialnymi. Zatem system jest nieodnawialny i liczymy dla niego charakterystyki (np.  $R_s(t)$ ) jak dla obiektu nieodnawialnego

$$R_s(t) = R_{I-II}(t)(k_{g_6}(t)) = (1 - [1 - R_I(t)][1 - R_{II}(t)])(k_{g_6}(t))$$

$$F_{I-II}(t) = F_I(t)F_{II}(t)$$

$$R_I(t) = k_{g_1}(t)R_2(t)R_3(t) \qquad R_{II}(t) = R_4(t)k_{g_5}(t)$$

# REZERWOWANIE



## Definicja rezerwowania

**Rezerwowaniem** nazywa się metodę podwyższania niezawodności UE polegającą na racjonalnym wprowadzeniu **nadmiaru (redundancji)**, tzn. dodatkowych środków lub możliwości ponad te minimalne, które są niezbędne do realizacji funkcji wymaganych od UE.

# Metody rezerwowowania ze względu na rodzaj wprowadzonego nadmiaru:

- funkcjonalne,
- czasowe,
- informacyjne,
- parametryczne,
- obciążeniowe (wytrzymałościowe).
- **układowe (strukturalne, fizyczne).**

## **REZERWOWANIE FUNKCJONALNE**

- zastosowanie części składowych z nadmiarem funkcjonalnym (mogących realizować funkcję podstawową oraz funkcje dodatkowe)
- zastosowanie układów pomocniczych realizujących funkcję podstawową
- zastosowanie różnych algorytmów realizowania danej funkcji przez różne części składowe

## **REZERWOWANIE CZASOWE**

- dodatkowy czas (nadmiar czasowy) na wykonanie określonego zadania
- zapas wydajności (np. zwiększenie szybkości działania)
- wewnętrzne zapasy produkcji wyjściowej (np.informacji)  
charakter pracy obiektu
- bezwładność czasowa przy reagowaniu na uszkodzenia części składowych obiektu

## **REZERWOWANIE INFORMACYJNE**

- wprowadzenie dodatkowej informacji (np. do usuwania błędów przy przesyłaniu informacji)

## **REZERWOWANIE PARAMETRYCZNE**

- zaprojektowanie obiektu tak, aby rzeczywiste parametry techniczne były lepsze niż wymagane

## **REZERWOWANIE OBCIĄŻENIOWE**

- zastosowanie części składowych o dopuszczalnym obciążeniu większym niż rzeczywiste
- zastosowanie większej liczby części składowych o obciążeniach rzeczywistych mniejszych niż nominalne

## REZERWOWANIE UKŁADOWE

**Rezerwowanie układowe** polega na wprowadzeniu do UE dodatkowych części składowych (rezerwowanie części składowych) lub całego UE (rezerwowanie całego UE).

## Grupa z rezerwą (GR)

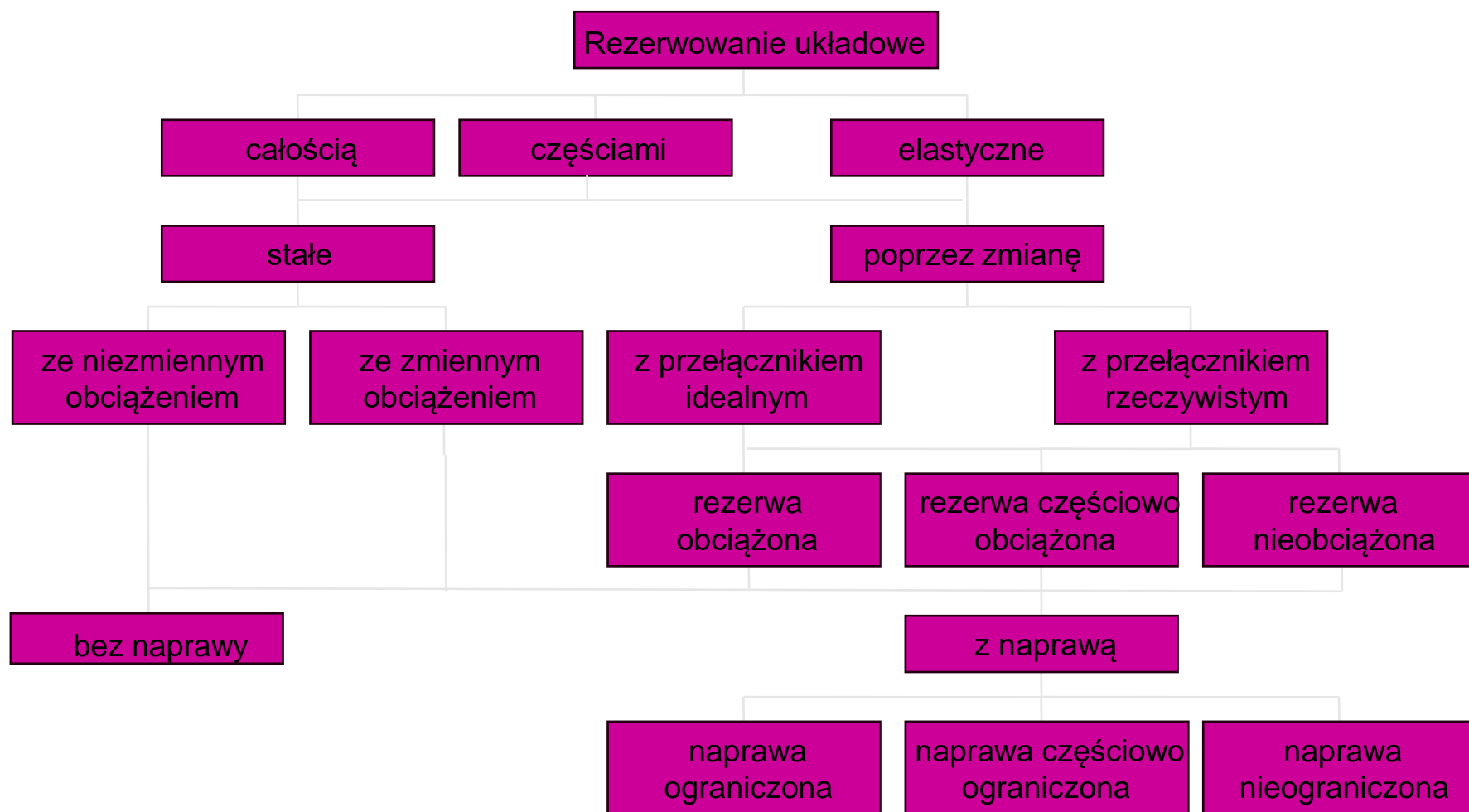
**Grupa z rezerwą** powstaje na skutek wydzielenia jednej lub kilku części składowych UE i dołączenia do nich rezerwowanych części składowych.

Rezerwowane części składowe *GR* nazywane są elementami podstawowymi *GR*, natomiast rezerwowane - **elementami rezerwowymi**. Zbiór wszystkich elementów podstawowych danej *GR* nazywany jest obiektami podstawowymi.

# Klasyfikacja sposobów rezerwowania

- Ze względu na sposób włączania elementów rezerwowych;
- Ze względu na sposób reakcji na uszkodzenia elementów *GR*;
- Ze względu na naprawę

# Klasyfikacja sposobów rezerwowania układowego:





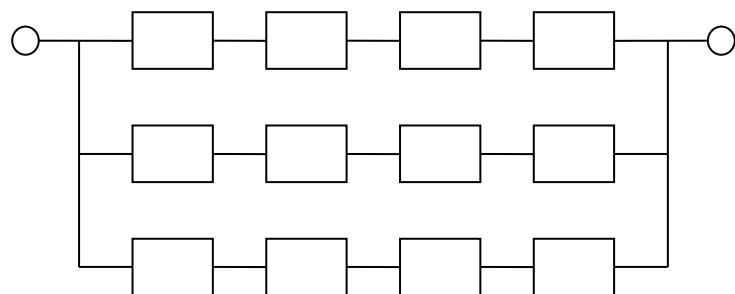
Ze względu na sposób włączania elementów rezerwowych wyróżnia się:

- **Rezerwowanie całością (ogólne) ;**
- **Rezerwowanie częściami (rozdzielcze );**
- **Rezerwowanie elastyczne (ślizgające się, przesuwające się, progowe);**

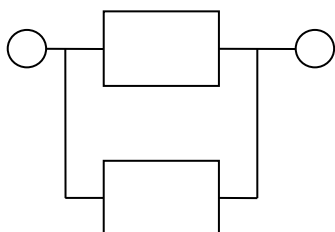
# REZERWOWANIE

(Ze względu na sposób włączania elementów rezerwowych)

→ **Rezerwowanie całością (ogólne)** — polegające na rezerwowaniu w całości obiektu podstawowego takimi samymi elementami rezerwowym, tzn. po uszkodzeniu się obiektu podstawowego GR w jego miejsce włączany jest układ (obiekt rezerwowy) złożony z takich samych elementów, jak obiekt podstawowy

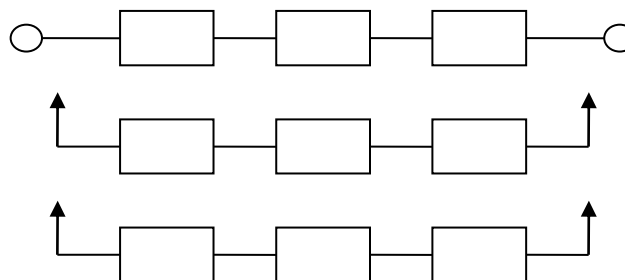


stałe

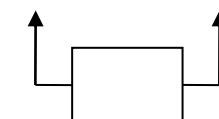
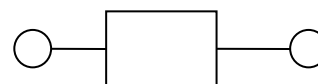


stałe

- DUBLOWANIE



przez zamianę

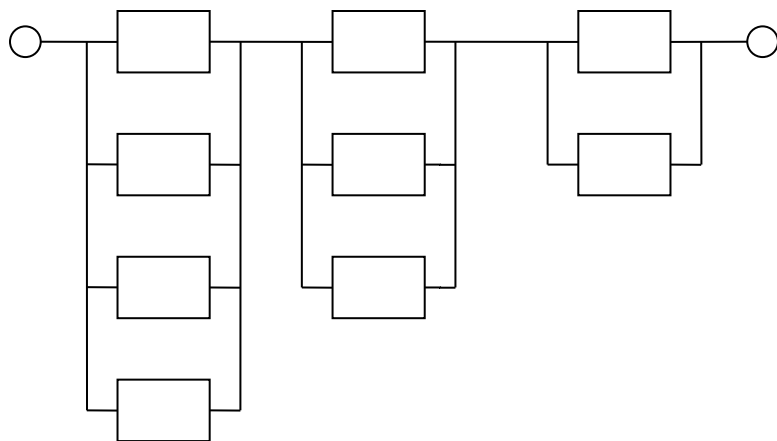


przez zamianę

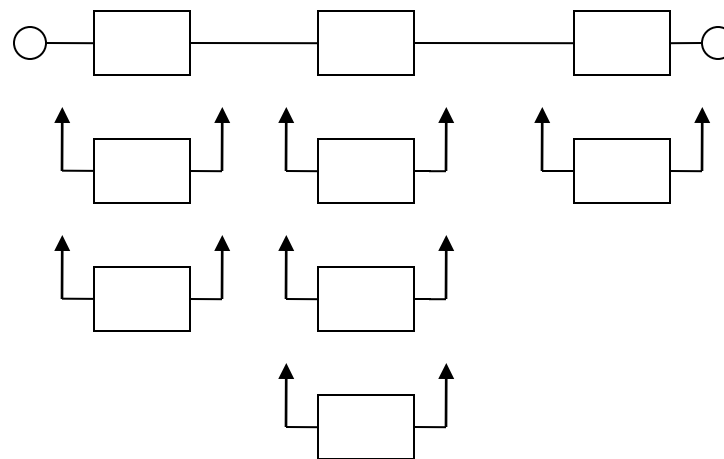
# REZERWOWANIE

(Ze względu na sposób włączania elementów rezerwowych)

- → Rezerwowanie częściami (rozdzielcze) — polegające na rezerwowaniu oddzielnie poszczególnych elementów podstawowych GR tego samego typu elementami rezerwowymi



stałe

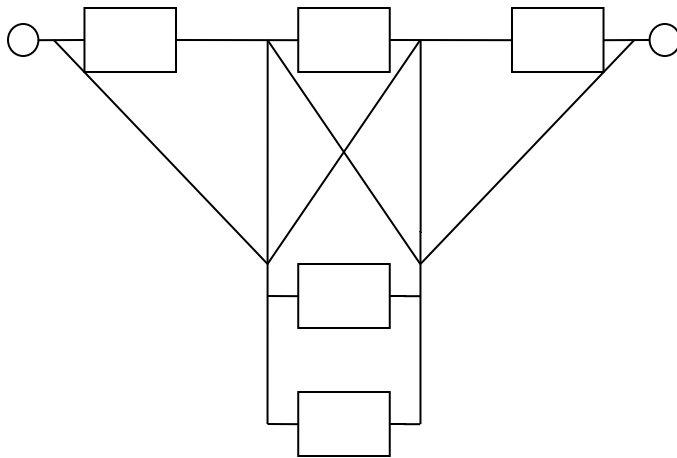


przez zamianę

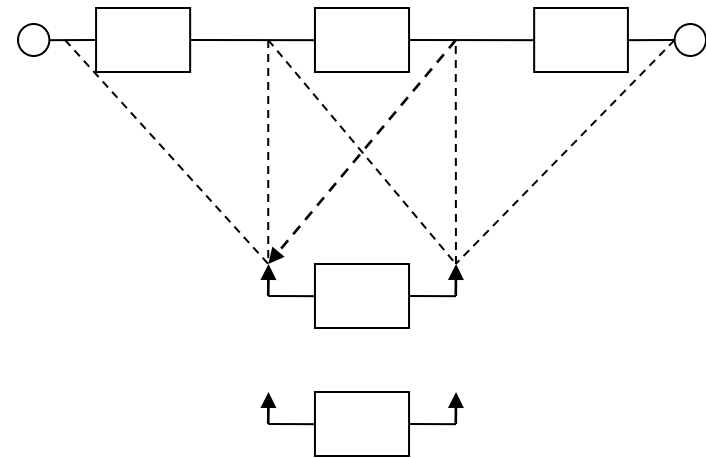
# REZERWOWANIE

(Ze względu na sposób włączania elementów rezerwowych)

→ Rezerwowanie elastyczne— polegające na rezerwowaniu tego samego typu elementów podstawowych identycznymi elementami rezerwowymi w taki sposób, że każdy element rezerwowy może zastąpić dowolny, uszkodzony element podstawowy



progowie stałe



elastyczne przez zamianę

# REZERWOWANIE

(Ze względu na sposób reakcji na uszkodzenia elementów GR )

→ Rezerwowanie stale (ciągle, pasywne) — polegające na stałym przyłączeniu elementów rezerwowych, które pracują równocześnie z elementami podstawowymi i są tak samo jak one obciążone

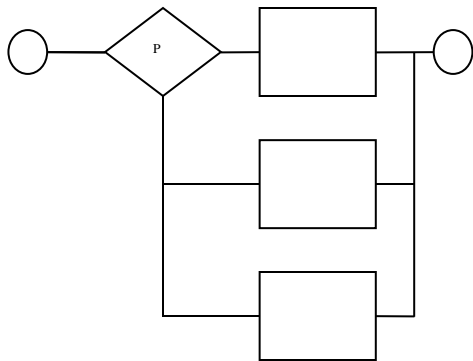
→ rezerwowanie (stałe) z niezmiennym obciążeniem — przy uszkodzeniu się jednego lub kilku elementów nie zmienia się obciążenie pozostałych zdalnych elementów,

→ rezerwowanie (stałe) ze zmiennym obciążeniem — uszkodzenie choćby jednego elementu powoduje zmianę (zwykle wzrost) obciążenia pozostałych zdalnych elementów.

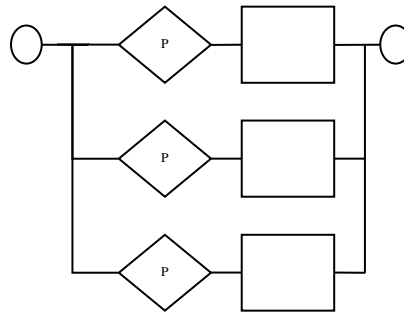
# REZERWOWANIE

(Ze względu na sposób reakcji na uszkodzenia elementów GR )

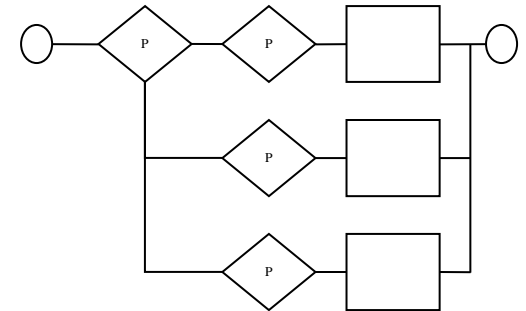
→ Rezerwowanie poprzez zamianę (aktywne) — polegające na tym, że funkcję GR realizują tylko elementy podstawowe, elementy rezerwowe są natomiast włączane do pracy dopiero po uszkodzeniu się elementów podstawowych



z przełącznikiem ogólnym



z przełącznikiem indywidualnym



z przełącznikiem ogólnym  
oraz indywidualnym

## Typy rezerwowania poprzez zamianę:

- **rezerwa obciążona (gorąca)** -elementy rezerwowe obciążone są w takim samym stopniu, jak elementy podstawowe (robocze) i znajdują się w stanie gotowości do natychmiastowego podjęcia pracy ;
- **rezerwa częściowo obciążona (ciepła, ulgowa)** - elementy rezerwowe są obciążone w łagodniejszym stopniu niż elementy podstawowe, znajdują się w stanie dyżurowania i są częściowo przygotowane do podjęcia pracy;
- **rezerwa nieobciążona (zimna)** — elementy rezerwowe są nieobciążone i nie ulegają uszkodzeniom podczas przebywania w stanie rezerwy.

Ze względu na naprawę  
wyróżnia się:

- **Rezerwowanie bez naprawy ;**
- **Rezerwowanie z naprawą ;**



## Rezerwowanie bez naprawy

**Rezerwowanie bez naprawy** - nie przewiduje się dokonywania napraw elementów *GR* bezpośrednio po ich uszkodzeniu, lecz dopiero po uszkodzeniu całej *GR*, jeśli należy ona do naprawianych części *UE*. Rezerwowanie to stosuje się tam, gdzie niemożliwe jest (np. ze względów technicznych czy BHP) dokonywanie napraw uszkodzonych elementów *GR* bez wyłączenia całej *GR*.

## Rezerwowanie z naprawą

**Rezerwowanie z naprawą (odnową)** - dokonuje się naprawy uszkodzonych elementów GR bezpośrednio po ich uszkodzeniu, przy czym nie jest konieczne wyłączanie całej GR. Naprawiony element powraca do *GR*.

## Rodzaje napraw:

- **naprawa ograniczona** - niemożliwe jest dokonywanie naprawy dwóch lub więcej elementów *GR* równocześnie,
- **naprawa częściowo ograniczona** - jednocześnie można naprawiać pewną ograniczoną liczbę elementów *GR*,
- **naprawa nieograniczona** - równocześnie można naprawiać dowolną liczbę elementów *GR*.

# Rodzaje redundancji układowej

**Krotność rezerwowania  $\kappa$  charakteryzuje rozmiar rezerwowania. Jest to stosunek liczby  $n_r$  elementów rezerwowych do liczby  $n_p$  elementów podstawowych:**

$$\kappa = \frac{n_r}{n_p}$$

**Krotność może być liczbą całkowitą lub ułamkową.**

# Miary redundancji w systemie

Wprowadza się pojęcie miary redundancji strukturalne (zysk z rezerwowania), która to miara jest ściśle związana ze wskaźnikiem niezawodności, jaki jest w danym momencie rozważany:

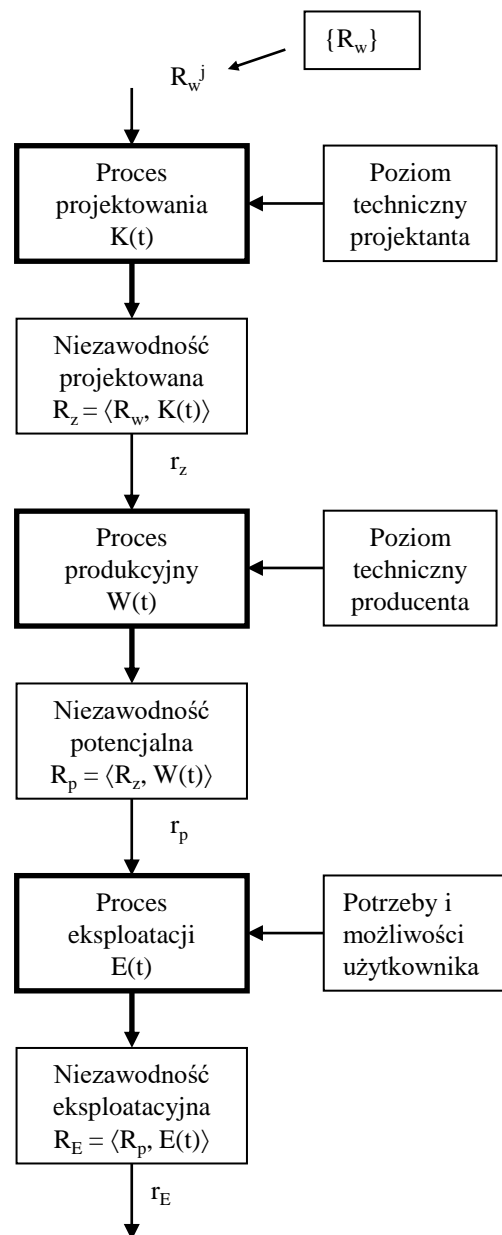
$$\eta_{w(t)} = \frac{w^*(t)}{w(t)}$$

gdzie  $w(t)$  jest rozważanym wskaźnikiem niezawodności, przy czym

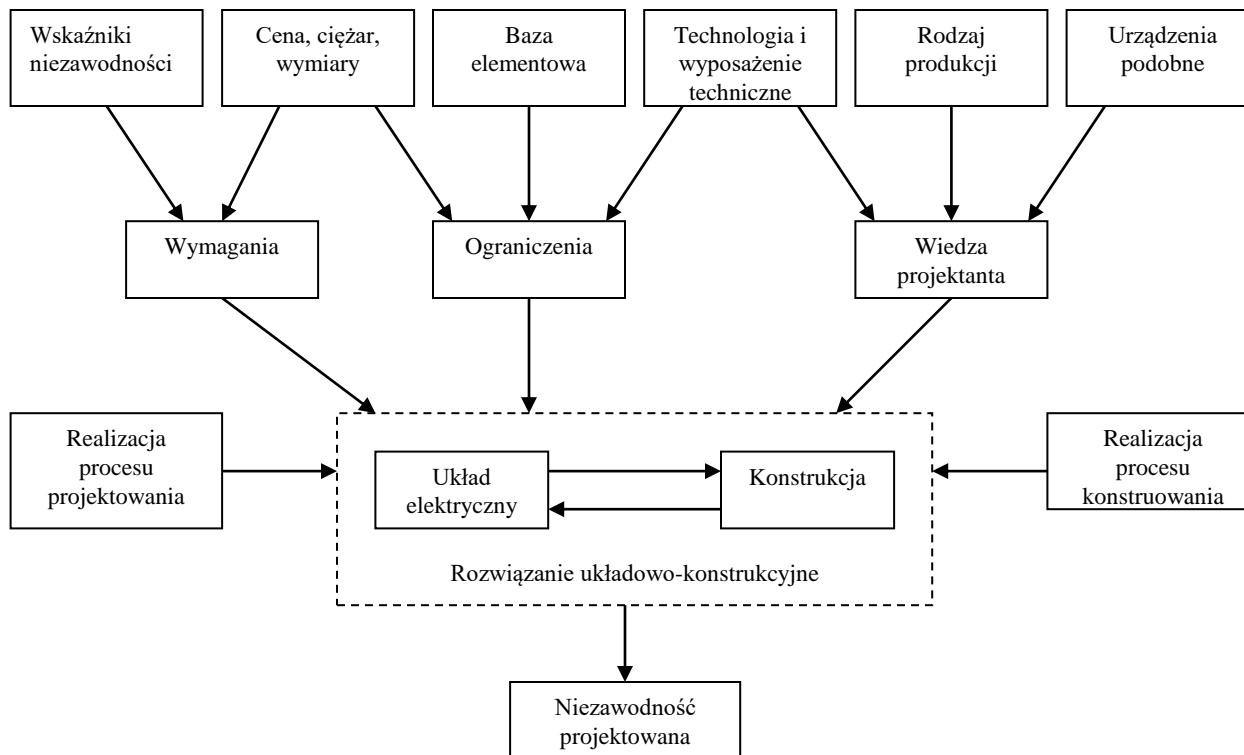
$w(t)$  – jest rozważanym wskaźnikiem dla systemu z jego podstawowymi elementami (bez nadmiarowych),  
 $w^*(t)$  – jest rozważanym wskaźnikiem dla systemu z uwzględnieniem elementów nadmiarowych.

# **KSZTAŁTOWANIE NIEZAWODNOŚCI URZĄDZEŃ**

# Współzależność niezawodności poszczególnych faz życia UE



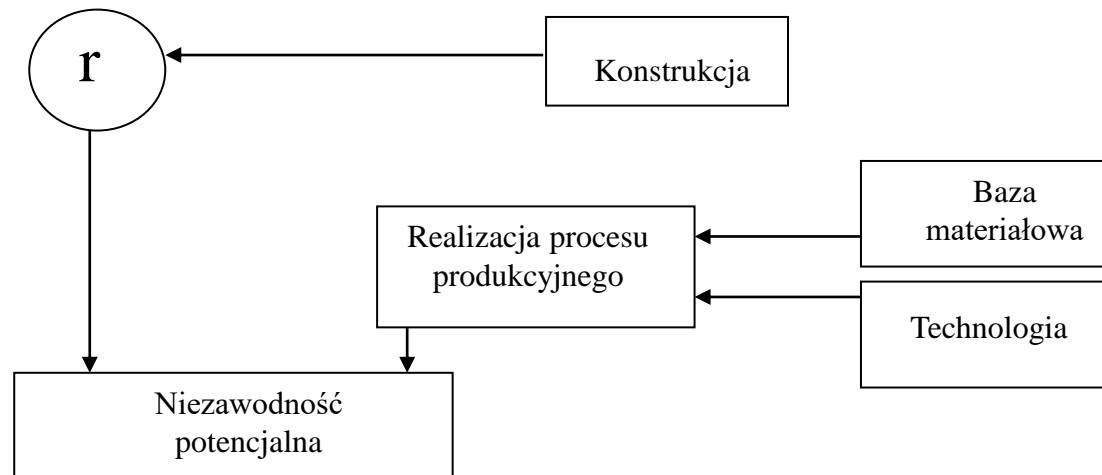
# Kształtowanie niezawodności projektowanej UE



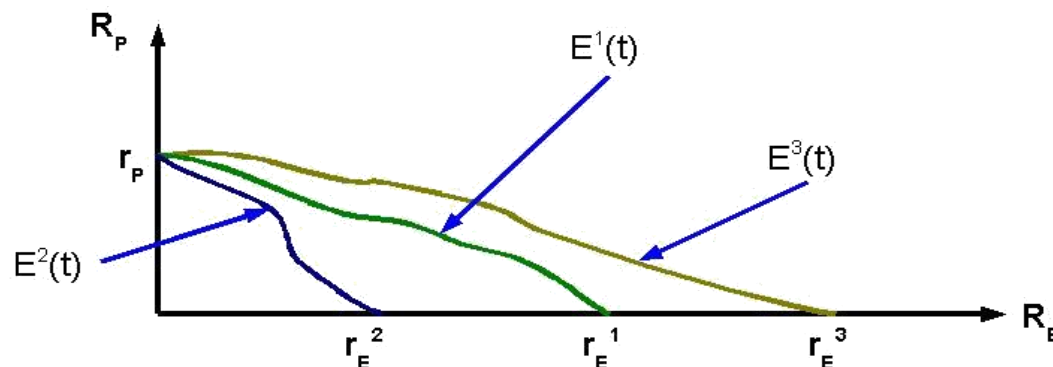
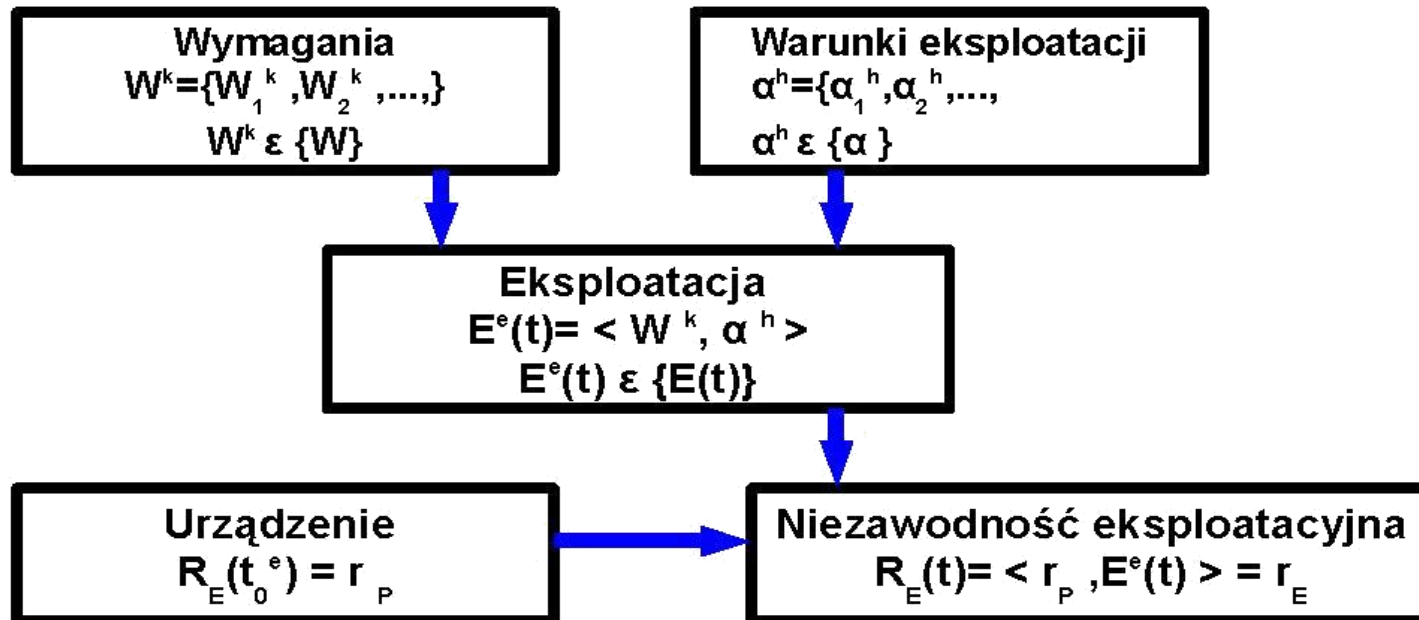


# Niezawodność potencjalna jest funkcją:

- Zmian w rozwiązaniu układowo-konstrukcyjnym (konstrukcji)
- Jakości i niezawodności zastosowanych elementów i materiałów (baza materiałowa)
- Technologii produkcji (wytwarzania)

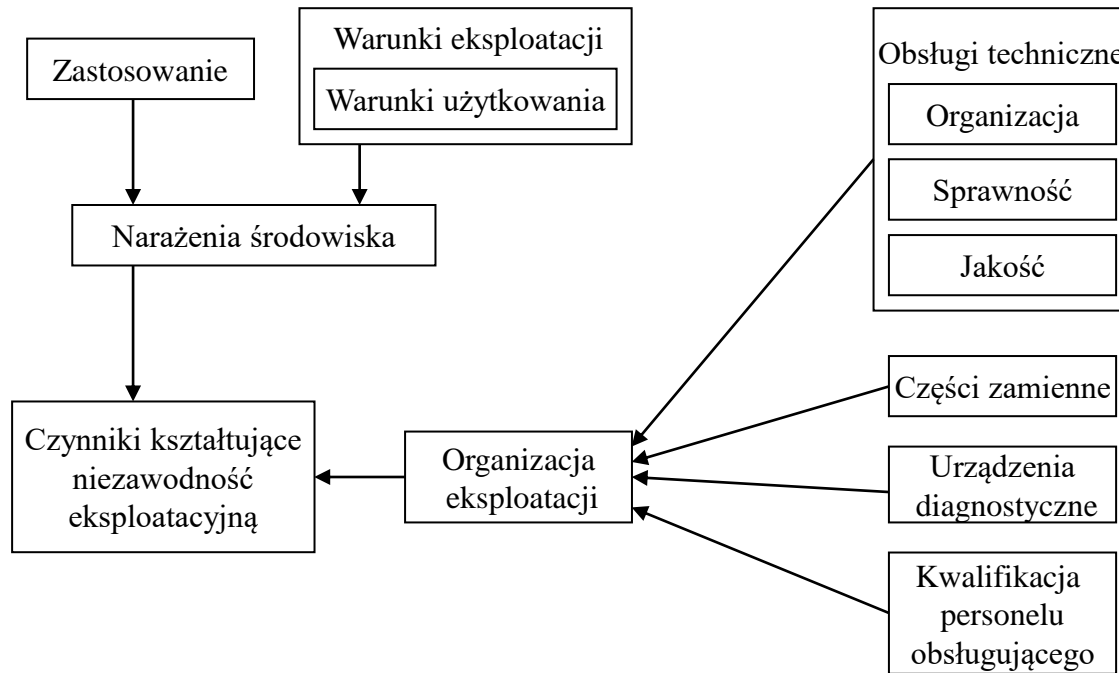


# Kształtowanie niezawodności eksploatacyjnej (1)



**Kształtowanie  
niezawodności  
eksploatacyjnej  
UE**

## Kształtowanie niezawodności eksploatacyjnej (2)



Czynniki związane z warunkami eksploatacji i użytkowania i sprowadzające się do różnego rodzaju narażeń środowiskowych i uwzględnia się je przy ocenie wskaźników niezawodności przede wszystkim poprzez tak zwane lambda-charakterystyki elementów

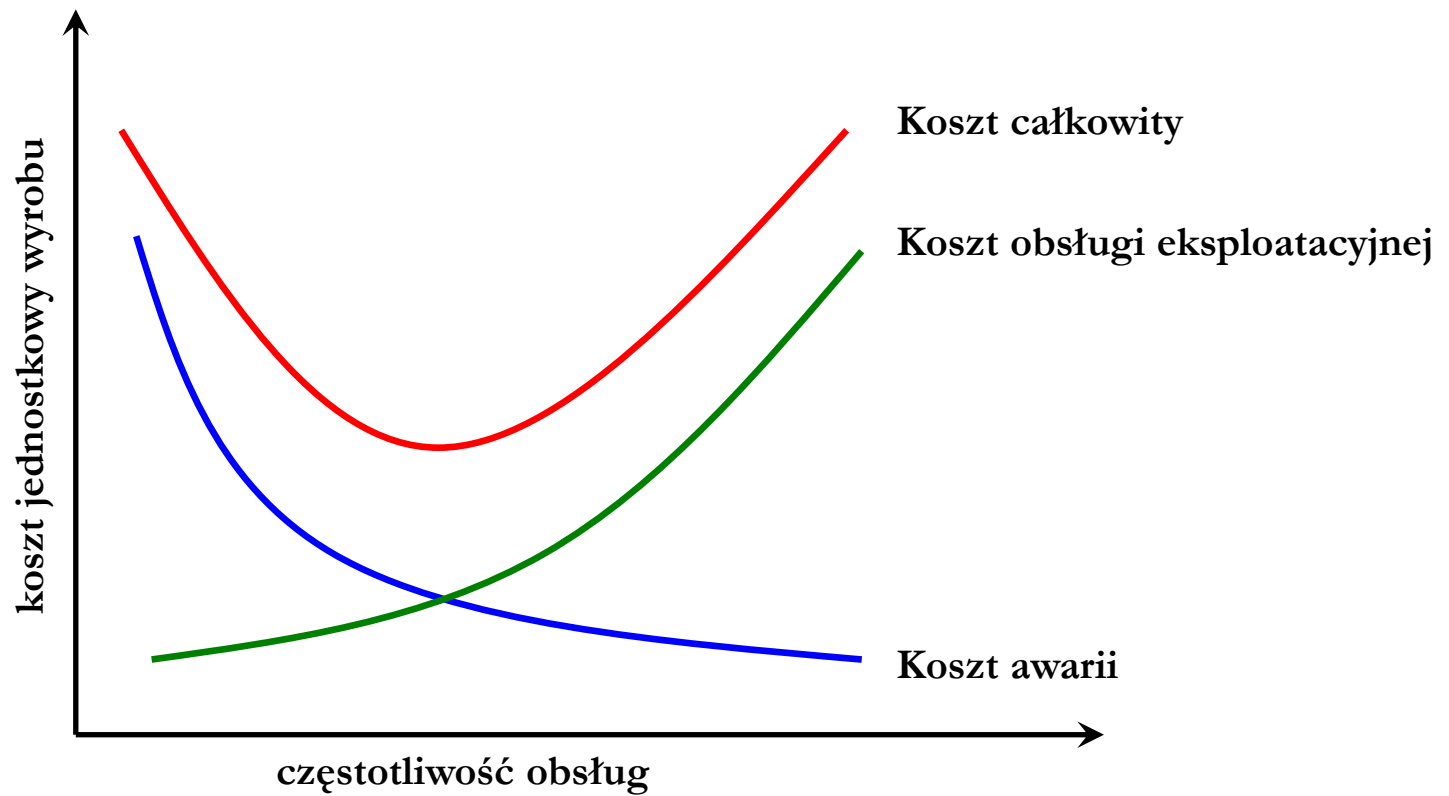
Czynniki związane z organizacją eksploatacji i użytkowania, to znaczy z organizacją, sprawnością i jakością usług technicznych, wyposażeniem w części zamienne, aparaturę kontrolno-pomiarową do oceny stanu technicznego UE oraz kwalifikacjami personelu obsługującego dane urządzenie

# Obsługa eksploatacyjna

## Cele obsługi eksploatacyjnej:

- A. Umożliwienie osiągnięcia pożądanej jakości wyrobów dzięki prawidłowo wyregulowanym, konserwowanym i obsługiwanym urządzeniom produkcyjnym
- B. Maksymalizacja ekonomicznego okresu użytkowania wyposażenia produkcyjnego
- C. Minimalizacja kosztów produkcji lub kosztów własnych bezpośrednio związanych z obsługą i naprawą urządzeń
- D. Utrzymanie warunków bezpiecznej eksploatacji sprzętu i zapobieganie rozwojowi zagrożeń
- E. Minimalizacja częstotliwości i rozległości następstw przerw w procesie produkcji
- F. Maksymalizacja zdolności produkcyjnych obiektów i wyposażenia

# Obsługa eksploatacyjna



# Obsługa eksploatacyjna

Naprawa lub wymiana wskutek uszkodzenia sprzętu  
metoda doraźna – urządzenia pracują do momentu uszkodzenia,  
a następnie są remontowane

Profilaktyka obsługowa

okresowa

resursowa

według możliwości

uwarunkowana stanem

# Obsługi profilaktyczne

## Założenia:

1. Funkcja intensywności uszkodzeń urządzenia  $\lambda(t)$  jest niemalejąca
2. Koszt związany z uszkodzeniem urządzenia jest znacznie większy niż koszt obsługi profilaktycznej
3. Po wykonaniu obsługi profilaktycznej urządzenie traktowane jest jak nowe (niezawodnościowo)

## Rodzaje obsług profilaktycznych:

1. Przeglądy
2. Konserwacje
3. Wymiany profilaktyczne

## Cel strategii obsług profilaktycznych:

wyznaczenie optymalnych chwil obsług profilaktycznych minimalizujących koszty eksploatacji urządzenia

# **PROGNOZOWANIE WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI Z ZASTOSOWANIEM METODY EKSPERTÓW**



## Ustalenie wymagań dla elementów metodą ekspertów

Intensywność uszkodzeń nowych elementów, odniesiona do obserwowanej w stosowanych elementach podobnych:

$$R = (\lambda_{di} : \lambda_{di} \leq \lambda_p)$$

gdzie:  $\lambda_{di}$  – prognoza intensywności uszkodzeń elementu i-tego typu

$\lambda_p$  – eksploatacyjna intensywność uszkodzeń elementów podobnych do projektowanego typu i

Wartość  $\lambda_{di}$  wyznacza się metodą ekspertów z zależności:

$$\lambda_{di} = \lambda_p * \alpha_i$$

# Ustalenie wymagań dla części składowych metodą współczynników wagowych

Prognoza  $R = Z_k$  ( $k=1,2$ ) określona w jednej z dwóch postaci:

$$Z_1 \equiv \Lambda(s, \gamma) \leq \Lambda_0 \quad \text{oraz} \quad Z_2 \equiv \Lambda(s, \gamma) > \Lambda_0$$

ma za zadanie dostarczyć odpowiedzi na pytanie: przy jakich intensywnościach uszkodzeń elementów urządzenie spełni postawione mu wymaganie niezawodnościowe?

Przyjęcie szeregowej struktury niezawodnościowej oznacza, że:

$$\Lambda = \sum_{j=1}^N \Lambda_j \quad \text{oraz} \quad \Lambda_j = \sum_{i=1}^{N_j} \lambda_i$$

gdzie:  $\Lambda_j$  – intensywność uszkodzeń modułu (toru)

j - kolejny numer modułu (toru)

Prognozę dla urządzenia oraz dla modułu sporządza się metodą współczynników wagowych.

Danymi prognostycznymi są:

- a) nominalne intensywności uszkodzeń zupełnych elementów
- b) struktura funkcjonalna urządzenia, określona rodzajem i liczbą części funkcjonalnych
- c) rodzaj (typ) i liczba zastosowanych elementów

# Wymagania niezawodności dla modułów

Ustalenie wymagań dla modułów urządzenia rozpoczyna się od obliczenia dopuszczalnej wartości intensywności uszkodzeń  $\Lambda_0$ :

$$\Lambda_0 \leq \frac{1}{t}$$

Dopuszczalną wartość intensywności uszkodzeń  $\Lambda_{0j}$  modułu o numerze  $j$  oblicza się jako średnią ważoną

$$\Lambda_{0j} = a_j * \frac{\Lambda_0}{N}$$

gdzie:  $a_j$  – średni współczynnik wagowy intensywności uszkodzeń modułu, uwzględniający jego specyfikę niezawodności

Rozkład uszkodzeń ustala się z danych uzyskanych z:

- a) badań niezawodnościowych urządzenia podobnego do projektowanego
- b) wyników ankiety przeprowadzonej wśród ekspertów

Współczynnik  $a_j$  oblicza się z zależności:

$$a_j = \frac{m_j * N}{m}, \quad j = 1, 2, \dots, N \text{ przy czym } m = \sum_{j=1}^N m_j$$

gdzie:  $m_j$  – średnia liczba uszkodzeń modułu  $j$   
 $m$  - średnia liczba uszkodzeń urządzenia

# Wymagania niezawodnościowe dla elementów

Jeśli przyjmiemy, że typy elementów wchodzących w skład modułu są jednakowe niezawodnościowo, to średnia intensywność uszkodzeń elementów w module j, wynosi:

$$\Lambda_{jt} = \frac{\Lambda_{0j}}{N_j}, \quad j=1,2,\dots,N$$

Ponieważ typy elementów są różne niezawodnościowo, to ich intensywności uszkodzeń są różne:

$$\Lambda_{ji} \leq b_{ji} * \Lambda_{jt}, \quad j=1,2,\dots,N, \quad i=1,2,\dots,N_j$$

gdzie:  $b_{ji}$  – współczynnik wagowy intensywności uszkodzeń typu elementów o numerze i w module j

Podstawiając wyrażenie  $\Lambda_{jt}$  do wzoru otrzymujemy:

$$\Lambda_{ji} \leq b_{ji} * \frac{\Lambda_{0j}}{N_j}$$

# Ustalenie wymagań dla urządzenia metodą ekspertów

## Ustalenie wymagania dla parametru strumienia uszkodzeń

Przy ustalaniu wymaganej (dopuszczalnej) wartości  $\Lambda$  korzysta się z zależności:

$$\Lambda_0 = \bar{\Lambda} * \alpha_e * \alpha_k \quad \text{lub} \quad \Lambda_0 \leq \Lambda_g * \alpha_e * \alpha_k$$

gdzie:  $\alpha_e$  – współczynnik uwzględniający możliwe podwyższenie niezawodności elementów układu elektrycznego urządzenia

$\alpha_k$  – współczynnik uwzględniający możliwe podwyższenie niezawodności konstrukcji mechanicznej urządzenia

## Prognoza współczynników $\alpha_k$ oraz $\alpha_e$

Współczynnik  $\alpha_k$  oblicza się z zależności:

$$\alpha_k = \frac{1}{k_m}, \quad k_m = \frac{1}{J} * \sum_j k_{mj}$$

gdzie:  $k_{mj}$  – wzrost niezawodności konstrukcji określony przez  $j$  – tego eksperta, podany narastająco od 1 do 2;  $k_m = 1$  oznacza utrzymanie tego samego poziomu niezawodności konstrukcji

$J$  – liczba ankietowanych ekspertów

Na podstawie oszacowań dokonanych przez j-tego eksperta oblicza się  $\alpha_{ej}$  i następnie  $\alpha_e$  z zależności:

$$\alpha_e = \frac{1}{J} * \sum_{j=1}^J \alpha_{ej}$$

Współczynnik  $\alpha_{ej}$  oblicza się (uwzględniając podział elementów na grupy niezawodnościowe) wg przewidywanego wzrostu niezawodności:

$$\alpha_{ej} = \sum_{g=1}^G \frac{1}{k_{gj}} * \frac{N_g}{N}$$

gdzie:  $k_{gj}$  – wzrost niezawodności elementów grupy g określona przez eksperta j  
 $N_g$  – liczba elementów grupy g  
 $N$  – liczba elementów w urządzeniu  
g – numer grupy elementów

Współczynnik  $k_g$  przyjmuje się narastająco od 1 do 10. Jeśli dla danej grupy nie przewiduje się wzrostu niezawodności to  $k_{gj} = 1$ .

Rozróżnia się następujące grupy elementów

- 1) elementy dyskretne
- 2) układy scalone
- 3) elementy elektryczne i elektromechaniczne
- 4) elementy mechaniczne

## Prognoza wymaganej wartości oczekiwanej czasu poprawnej pracy

Ustalając wymaganą wartość  $E(T_0)$  korzysta się z zależności:

$$E(T_0) = \bar{E}(T) * k_m * k_e \quad \text{lub} \quad E(T_0) \geq E_g(T) * k_m * k_e$$

gdzie:  $E_g(T)$  – kres górny przedziału ufności dla wartości oczekiwanej

$k_m$  – współczynnik określający wzrost niezawodności konstrukcji mechanicznej urządzenia

$k_e$  – współczynnik określający wzrost niezawodności układu elektrycznego urządzenia

### Prognoza współczynników $k_m$

$$k_m = \frac{1}{J} * \sum_{j=1}^J k_{mj}$$

gdzie:  $k_{mj}$  – wzrost niezawodności konstrukcji określony przez  $j$  – tego eksperta, podany narastająco od 1 do 2;  $k_m = 1$  oznacza utrzymanie tego samego poziomu niezawodności konstrukcji

$J$  – liczba ankietowanych ekspertów

### Prognoza współczynników $k_e$

Współczynnik  $k_e$  oblicza się ze wzoru:

$$k_e = \frac{1}{J} * \sum_{j=1}^J k_{ej}$$

Wartość  $k_{ej}$  oblicza się na podstawie współczynników  $k_{ejg}$ , podanych przez  $j$ -tego eksperta dla poszczególnych grup elementów  $g=1,2,...,G$ . Korzysta się z wzoru:

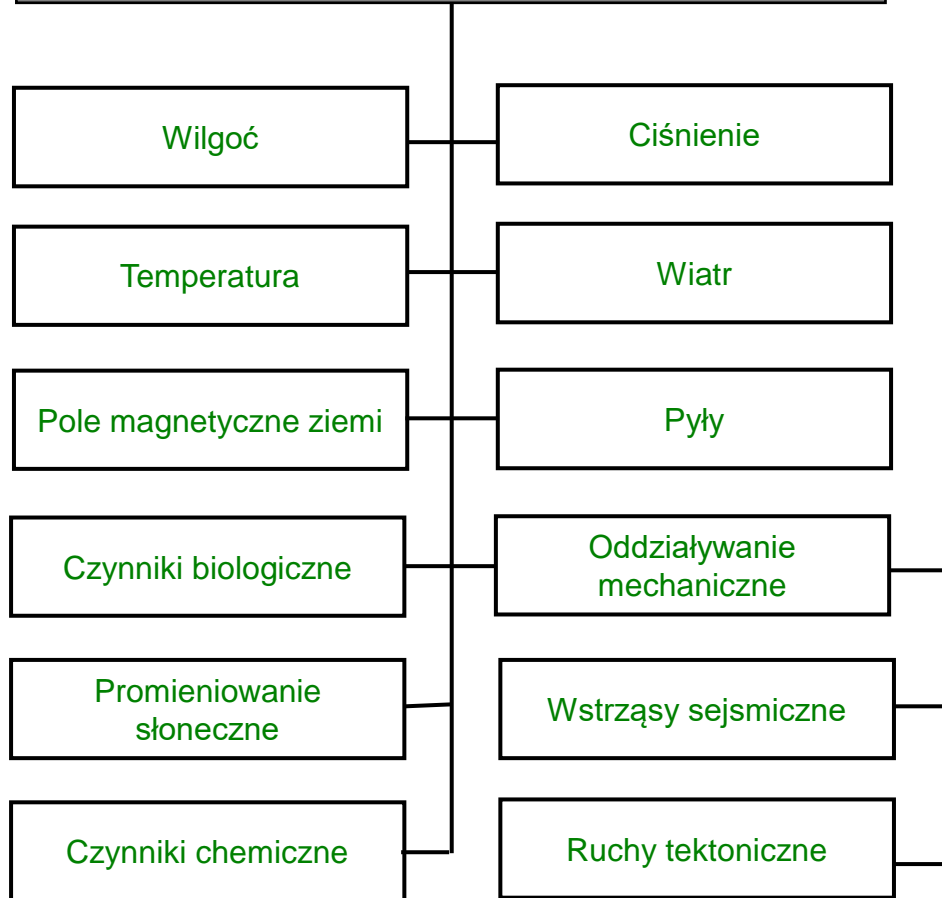
$$k_{ej} = \sum_{g=1}^G k_{ejg} * \frac{N_g}{N}, \quad j=1, 2, \dots$$

# **PROCESY FIZYKO-CHEMICZNE ZACHODZĄCE W URZĄDZENIACH**

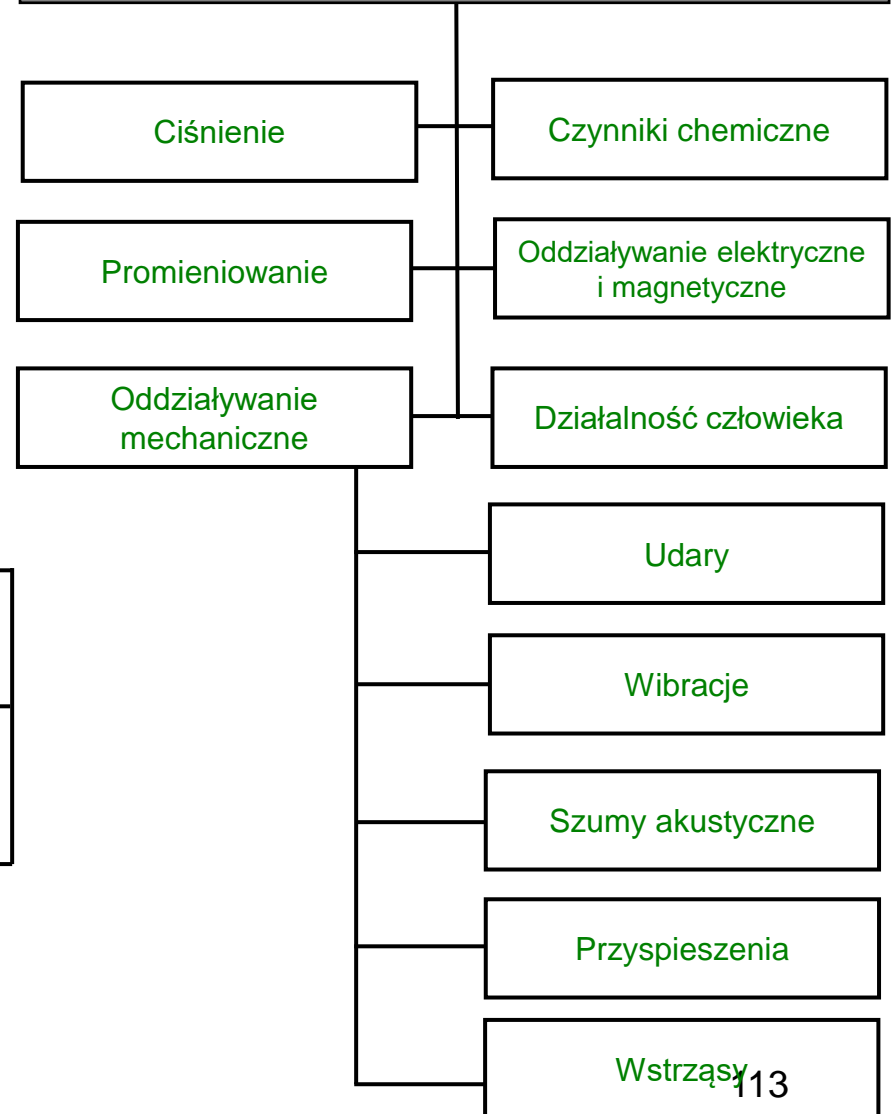


# ZEWNĘTRZNE CZYNNIKI ŚRODOWISKOWE

## Czynniki pochodzenia naturalnego



## Czynniki pochodzenia sztucznego



## Wilgotność względnie duża

Objawy	Skutki
<ul style="list-style-type: none"> <li>-absorbpcja i absorbcja pary wodnej</li> <li>-przyspieszenie procesów starzeniowych</li> <li>-zmiany właściwości fizycznych</li> <li>-kondensacja pary wodnej na powierzchniach</li> <li>-woda na powierzchniach i w szczelinach</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-zmniejszenie rezystancji skrośnej i powierzchniowej dielektryków</li> <li>-zmniejszenie wytrzymałości napięciowej izolatorów</li> <li>-zmiany przenikalności elektrycznej materiałów</li> <li>-zmiany stratności dielektrycznej materiałów</li> <li>-wzrost pojemności kondensatorów</li> <li>-pękanie powłok lakierniczych</li> <li>-deformacja kształtów elementów</li> <li>-przebicia skrośne i powierzchniowe</li> <li>-korozja galwaniczna, zmiany chemiczne</li> <li>-zmiana warunków chłodzenia</li> <li>-pęczenie</li> <li>-pogorszenie kontaktów</li> </ul>

## Wilgotność względnie mała

Objawy	Skutki
<ul style="list-style-type: none"> <li>-wysychanie materiałów</li> <li>-zmiany własności izolacyjnych</li> <li>-zmiany powierzchniowe materiałów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-kruszenie się materiałów izolacyjnych</li> <li>-zmiany parametrów elektrycznych</li> <li>-przyspieszone starzenie</li> <li>-pękanie pokryć malarskich, gumy, drewna, materiałów izolacyjnych i innych</li> </ul>

### Podwyższone ciśnienie atmosferyczne

Objawy	Skutki
-naprężenia mechaniczne w osłonach urządzeń elektrycznych	-deformacja kształtów - pękanie osłon

### Obniżone ciśnienie atmosferyczne

Objawy	Skutki
-naprężenia mechaniczne w obudowach -zmiany przenikalności elektrycznej powietrza -zmiany stratności dielektrycznej powietrza -przyspieszenie procesów starzeniowych -osadzanie szronu i szadzi -roszenie	-przebiecia powierzchniowe -przegrzewanie się elementów -wiskoza smarów -pękanie obudów

## Narażenia mechaniczne

### Udary, wibracje, przyspieszenia stałe

Objawy	Skutki
<ul style="list-style-type: none"><li>-naprężenia materiałów: impulsowe, przemienne, stałe</li><li>-drgania urządzeń elektrycznych i jego elementów</li><li>-zmęczenie materiałów</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-złamania, pęknięcia</li><li>-uszkodzenia obudów i osłon</li><li>-uszkodzenia zestyków ruchomych</li><li>-pękanie pokryć lakierniczych</li><li>-wysuwanie się elementów z uchwytów mocujących</li><li>-pękanie elementów lub ich części</li><li>-pękanie przewodów</li><li>-unieruchamianie mechanizmów</li><li>-pogorszenie kontaktów</li><li>-zmiany kształtów elementów</li><li>-zmiany położenia elementu wewnątrz urządzenia elektrycznego</li></ul>

## Czynniki biologiczne

grzyby pleśniowe, bakterie, owady, zwierzęta

### Objawy

- przyspieszone starzenie materiałów izolacyjnych
- akumulacja wilgoci
- zjadanie materiałów organicznych
- korozja mikrobiologiczna
- powstawanie warstw przewodzących

### Skutki

- zmniejszenie rezystancji powierzchniowej
- ubytki materiałów
- zwarcia elektryczne
- przebicia powierzchniowe
- uszkodzenia mechaniczne
- zmiany warunków chłodzenia
- pogorszenie kontaktów elektrycznych
- niszczenie powłok lakierniczych

## Temperatura podwyższona

Objawy	Skutki
<ul style="list-style-type: none"> <li>-rozmiękczenie materiałów</li> <li>-zmniejszenie lepkości smarów</li> <li>-zmiany właściwości mechanicznych i elektrycznych</li> <li>-przyspieszenie procesów starzeniowych</li> <li>-wydłużenie części elementów</li> <li>-wzrost temperatury elementów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-unieruchamianie mechanizmów</li> <li>-pogorszenie parametrów elektrycznych</li> <li>-pękanie tworzyw, powłok lakierniczych, miejsc klejonych</li> <li>-wzrost naprężeń mechanicznych w częściach współpracujących</li> <li>-deformacja części z tworzyw termoplastycznych</li> <li>-wyciekanie materiałów impregnowanych, smarów</li> <li>-wzrost częstości uszkodzeń</li> </ul>

## Temperatura obniżona

Objawy	Skutki
<ul style="list-style-type: none"> <li>-zmiany właściwości elektrycznych</li> <li>-zmniejszenie własności smarujących</li> <li>-kruszenie się materiałów</li> <li>-osadzanie szronu i szadzi</li> <li>-roszenie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-zmniejszanie plastyczności materiałów</li> <li>-wzrost kruchości materiałów</li> <li>-zamarzanie smarów, zatarcia ruchomych części mech.</li> <li>-pogorszenie parametrów elektrycznych</li> <li>-zmniejszenie sprężystości i wytrzymałości mechanicznej</li> <li>-kurczenie i pękanie przewodów izolacyjnych</li> <li>-pękanie warstw ochronnych, miejsc klejonych, gumy</li> </ul>

## Zmiany temperatury

Objawy	Skutki
<ul style="list-style-type: none"> <li>-zmiany własności elektrycznych i mechanicznych</li> <li>-przyspieszenie procesów starzeniowych</li> <li>-osadzanie szronu i szadzi, roszenie</li> <li>-wzrost wilgotności powietrza wewnątrz urządzeń elektrycznych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-wzrost intensywności uszkodzeń</li> <li>-pękanie przewodów, warstw klejonych</li> <li>-pogorszenie kontaktów</li> <li>-powstawanie szczelin na powierzchniach</li> <li>-pogorszenie parametrów elektrycznych i mechanicznych</li> <li>-zbieranie się warstewki wody kondensacyjnej na powierzchniach</li> </ul>

## Zanieczyszczenia atmosfery

zanieczyszczenia przemysłowe, pyły, gazy, sole

### Objawy

- korozja chemiczna i galwaniczna
- zmiany wytrzymałości elektrycznej powietrza
- chłonięcie wilgoci
- powstawanie powierzchniowych warstw przewodzących

### Skutki

- korozja metali
- pogorszenie kontaktów
- zmniejszenie rezystywności powierzchniowej
- utrudnienie ruchu elementów mechanicznych
- unieruchomienie części ruchomych
- niszczenie powłok ochronnych
- możliwość rozwoju mikroorganizmów i owadów
- przebicia powierzchniowe
- zmiany powierzchniowe powłok ochronnych

## Procesy Powierzchniowe

Parowanie

Dyfuzja

Korozja

## Procesy Fotochemiczne

Erozja elektryczna

Erozja elektrochemiczna

Rozwój pęknięć

Zużycie

## Procesy Objętościowe

Rekrystalizacja

Wpływ promieniowania



# **BADANIE WPŁYWU CZYNNIKÓW ZEWNĘTRZNYCH NA NIEZAWODNOŚĆ URZĄDZEŃ**

# WARUNKI EKSPLOATACJI

Strefy klimatyczne			Temperatura,°C			Wilgotność względna %	Natężenie pola magnetycznego Oe	Ciśnienie mm Hg
			Maksymalna	Minimalna	Zmiany dobowe			
Na pow. Ziemi	Arktyczna		+35	-50 (-65)	20	-	~0.5	720–800
	Umiarkowana	Wilgotna	+40	-20	25	60–80 (98)	~0.5	720–800
		Sucha	+40	-20	25	40–60	~0.5	720–800
	Tropikalna	Wilgotna	+40	+20	-	80–90	~0.5	720–800
		Sucha	+50	-10	40	10–40	~0.5	720–800
Poza pow. Ziemi	Warunki kosmiczne		-	-273	-	-	0–0.5	~0
	Warunki podwodne		+30	0	-	100	~0.5	-
	Warunki podziemne		+30– +600+(800)	Temperatura na pow. ziemi	-	-	~0.5	-

## cd. WARUNKI EKSPLOATACJI

Strefy klimatyczne			Promieniowanie			
			Słoneczne $W_{c \max}$	Protony	Elektrony	kosmiczne
Na pow. Ziemi	Arktyczna		$1.4\eta\cos\theta$ $\eta=0.7-0.8$ $\theta$ - kąt padania	-	-	-
	Umiarkowana	Wilgotna	$1.4\eta\cos\theta$ $\eta=0.7-0.8$ $\theta$ - kąt padania	-	-	-
		Sucha	$1.4\eta\cos\theta$ $\eta=0.7-0.8$ $\theta$ - kąt padania	-	-	-
	Tropikalna	Wilgotna	$1.4\eta\cos\theta$ $\eta=0.7-0.8$ $\theta$ - kąt padania	-	-	-
		sucha	$1.4\eta\cos\theta$ $\eta=0.7-0.8$ $\theta$ - kąt padania	-	-	-
Poza pow. Ziemi	Warunki kosmiczne		$1.4kW/m^2$	1–700 MeV	-	$(1-2.5)*10^4$ cząsteczek/ $m^2s$
	Warunki podwodne		-	-	-	-
	Warunki podziemne		-	-	-	-

# METODY BADAŃ

- Badania normalne – ocena wskaźników niezawodności przy normalnej temperaturze  $\theta_1$  i wilgotności  $w_1$  ,
- Badania przyśpieszone – ocena wskaźników niezawodności przy podwyższonej temperaturze do  $\theta_2$  i wilgotności do  $w_2$
- Badania forsowne – sprawdzenie wskaźników niezawodności przy bardzo podwyższonej temperaturze do  $\theta_3$  i wilgotności do  $w_3$

# APARATURA DO BADAŃ NIEZAWODNOŚCI

- 1) Komory do badań przy zmianach temperatury, wilgotności i ciśnienia;
- 2) Komory do badań wpływu deszczu, bryzgów wody i promieniowania słonecznego;
- 3) Komory do badań wpływu piasku i pyłu;
- 4) Komory do badań wpływu bakterii i mikroorganizmów;
- 5) Komory do badań zagrożenia wybuchowego;
- 6) Stanowiska do badań wpływu wibracji i efektów akustycznych;
- 7) Stanowiska do badań uderowych;
- 8) Stanowiska (wirówki) do badań wpływu przyśpieszeń;
- 9) Stanowiska do badań wpływu promieniowania radioaktywnego.

# **PLANY BADAŃ NIEZAWODNOŚCI**

# KONTROLNE BADANIA NIEZAWODNOŚCI

- mają na celu sprawdzenie z określonym poziomem ufności, czy wskaźniki niezawodności urządzenia mieszczą się w założonych przedziałach tolerancji.

## Rodzaje błędów:

**Ryzyko dostawcy (producenta)  $\alpha$**  - prawdopodobieństwo odrzucenia partii obiektów spełniającej wymagania niezawodnościowe

$$1 - P(T_0) = \alpha$$

gdzie:  $T_0$  – kwalifikujący czas poprawnej pracy (najmniejsza wartość średniego czasu poprawnej pracy obiektów w partii, przy której daną partię uznajemy za zgodną z wymaganiami z prawdopodobieństwem  $1 - \alpha$ )

Oznacza ono, że partia spełniająca wymagania zostanie uznana za niezgodną z wymaganiami z prawdopodobieństwem  $\alpha$ .

**Ryzyko odbiorcy (użytkownika)  $\beta$**  - prawdopodobieństwo przyjęcia partii obiektów nie spełniających wymagań niezawodnościowych

$$P(T_1) = \beta$$

gdzie:  $T_1$  – dyskwalifikujący czas poprawnej pracy (największa wartość średniego czasu poprawnej pracy obiektów w partii, przy której daną partię uznajemy za zgodną z wymaganiami z prawdopodobieństwem  $\beta$ )

Oznacza ono, że partia nie spełniająca wymagań zostanie przyjęta z prawdopodobieństwem  $\beta$ .



# **Plany badania niezawodności w przypadku rozkładu wykładniczego wg normy PN-77/N-04021**

## **Przedmiot normy**

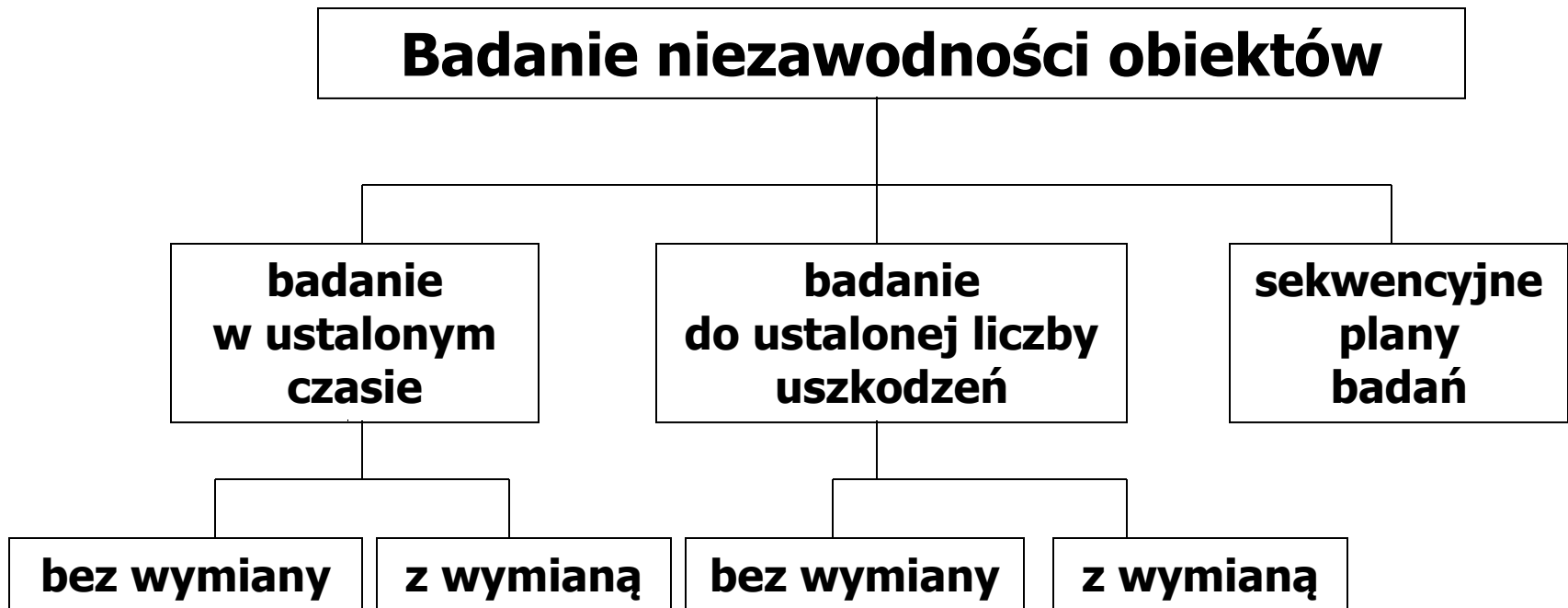
**Prezentowana norma dotyczy planów badania niezawodności obiektów technicznych, umożliwiającą sprawdzenie średniego czasu poprawnej pracy do uszkodzenia, przy założeniu rozkładu wykładniczego.**

## **Zakres stosowania normy**

**Norma znajduje zastosowanie, gdy:**

- czas poprawnej pracy do momentu uszkodzenia lub pomiędzy uszkodzeniami ma rozkład wykładniczy**
- badanie dotyczy wyrobów produkowanych seryjnie**

# Podział planów badań



## **Określenia:**

**Badanie z wymianą – badanie niezawodności obiektów, podczas którego uszkodzone obiekty są zastępowane nowymi**

**Badanie bez wymiany – badanie niezawodności obiektów, podczas którego uszkodzone obiekty nie są zastępowane nowymi**

## Plan badania w ustalonym czasie

### Oznaczenia:

- $\Theta_0$  - kwalifikujący czas poprawnej pracy
- $\Theta_1$  - dyskwalifikujący czas poprawnej pracy
- $\alpha$  - ryzyko dostawcy (producenta)
- $\beta$  - ryzyko odbiorcy (użytkownika)
- $t_B$  - czas badania
- $r$  - dyskwalifikująca liczba uszkodzeń
- $n$  - liczność badanej próbki

## **Plan badania w ustalonym czasie - bez wymiany**

Badanie jest prowadzone w ustalonym czasie  $t_B$ ; obiekty uszkodzone nie są zamieniane w trakcie badania na nowe.

Dla ustalonych wartości  $\Theta_0$  i  $\Theta_1$  określa się wartość stosunku  $\Theta_1/\Theta_0$ .

Dla przyjętego czasu badania określa się wartość stosunku  $t_B/\Theta_0$ .

**Dla obliczonych wartości  $\Theta_1/\Theta_0$  i  $t_B/\Theta_0$  znajduje się licznosc badanej próbki  $n$  i dyskwalifikującą liczbę sztuk uszkodzonych  $r$ .**

# Plan badania w ustalonym czasie - bez wymiany cd

Tabela 1. Przykładowy plan badania bez wymiany. Dyskwalifikująca liczba  $r$  sztuk uszkodzonych i licznosc próbki  $n$  przy ustalonych:  $\alpha$   $\beta$   $\Theta_1/\Theta_0$   $t_B/\Theta_0$

$\Theta_1/\Theta_0$	$r$	$t_B/\Theta_0$					
		1/3	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
		$n$					
		$\alpha = 0,01$ $\beta = 0,01$					
2/3	136	403	622	1172	2275	5585	11103
1/2	46	119	182	340	657	1608	3193
1/3	19	41	61	113	216	526	1044
1/5	9	15	22	39	74	179	355
1/10	5	6	9	15	28	66	130

Przykład 1. Jeśli dla przyjętych danych, w danym czasie  $t_B$ , w próbce o licznosci 9 sztuk, nastąpiło 0, 1, 2, 3 i 4 uszkodzenia, to partię reprezentowaną przez próbkę losową należy przyjąć. Jeżeli piąte uszkodzenie nastąpiło przed upływem czasu  $t_B$ , to badanie należy zakończyć w chwili wykrycia i uznać partię za niezgodną z wymaganiami.

## **Plan badania w ustalonym czasie - z wymianą**

Badanie jest prowadzone w ustalonym czasie  $t_{B_i}$ ; obiekty uszkodzone zamieniane są w trakcie badania na nowe.

Postępowanie jest analogiczne jak dla badań bez wymiany:

**Dla obliczonych wartości  $\Theta_1/\Theta_0$  i  $t_B/\Theta_0$  znajduje się licznosc badanej próbki  $n$  i dyskwalifikującą liczbę sztuk uszkodzonych  $r$ .**



## **Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń**

Badania niezawodności z ustaloną liczbą uszkodzeń prowadzone są w celu sprawdzenia zgodności otrzymanego poziomu niezawodności z poziomem założonym.

Badanie prowadzone jest do momentu zaobserwowania ustalonego  $r$ -tego uszkodzenia.

Dla ustalonych wartości  $\Theta_0$  (kwalifikujący średni czas poprawnej pracy) i  $\Theta_1$  (dyskwalifikujący średni czas poprawnej pracy) określa się wartość stosunku  $\Theta_1/\Theta_0$ .

# Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń cd

W odpowiednich tablicach (Przykład 2, Tablica 2), dla ustalonych wartości :  $\alpha$  i  $\beta$  znajduje się liczbę najbliższą  $\Theta_1/\Theta_0$

Tabela 2. Fragment przykładowego planu badania dla  $\alpha=0,05$

Wartość stosunku $\Theta_1/\Theta_0$ dla $\beta$					$r$	$C/\Theta_0$
0,05	0,10	0,20	0,30	0,50		
0,017	0,022	0,032	0,043	0,074	1	0,052
0,075	0,091	0,119	0,146	0,212	2	0,178
0,130	0,154	0,191	0,226	0,306	3	0,272
0,176	0,205	0,248	0,287	0,372	4	0,342

Przykład 2. Dla przyjętych danych  $\alpha=0,05$  i  $\beta=0,05$  znajdujemy liczbę najbliższą obliczonemu  $\Theta_1/\Theta_0=0,164$  (tu: 0,176). Na podstawie tej wielkości określa się wartości: liczby uszkodzeń  $r$  i stosunku  $C/\Theta_0$ , gdzie **C**-jest stałą krytyczną, oznaczającą dolną granicę wartości średniego czasu poprawnej pracy.

## **Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń – bez wymiany**

W badaniach, gdzie uszkodzonych obiektów nie wymienia się na nowe, liczność badanej próbki  $n$  powinna być nie mniejsza niż dopuszczalna liczba uszkodzeń.

W trakcie badania czasu poprawnej pracy do uszkodzenia, rejestruje się czas wystąpienia uszkodzeń:  $t_1, t_2, \dots, t_r$

## Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń – bez wymiany cd

Na podstawie tych danych, szacuje się **średni czas poprawnej pracy** wg wzoru:

$$\Theta^* = \frac{1}{r} \cdot \left[ \sum_{i=1}^r t_i + (n - r)t_r \right]$$

gdzie:  $n$  – liczność badanej próbki

$t_r$  – czas wystąpienia  $r$ -tego uszkodzenia

## **Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń – bez wymiany cd**

Wykorzystując odczytaną z tablic wartość  $C/\Theta_0$  i przyjętą wartość  $\Theta_0$ , wyznacza się stałą krytyczną  $C$ :

$$C = \left( \frac{C}{\Theta_0} \right) \cdot \Theta_0$$

## **Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń – bez wymiany cd**

W przypadku, gdy:

- $\Theta^* \geq C$  to badana partia spełnia postawione wymagania
- $\Theta^* < C$  to badaną partię należy odrzucić, jako nie spełniającą wymagań

## **Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń – z wymianą**

Badanie  $n$ -elementowej próbki jest kontynuowane do wystąpienia  $r$ -tego uszkodzenia. Uszkodzone obiekty są zastępowane nowymi.

Liczność próbki może być dowolna, jednak nie powinna być mniejsza niż  $r$ .

## Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń – z wymianą - cd

Na podstawie przeprowadzonego badania,  
szacuje się **średni czas poprawnej pracy**  
wg wzoru:

$$\Theta^* = \frac{n \cdot t_r}{r}$$

gdzie:  $n$  – liczność badanej próbki

$t_r$  – czas wystąpienia  $r$ -tego uszkodzenia

$r$  – liczba uszkodzeń



## Plan badania do ustalonej liczby uszkodzeń – z wymianą - cd

Dalsze postępowanie jest zgodne z tym jakie jest w przypadku badania do ustalonej liczby uszkodzeń bez wymiany: dla danych  $\alpha, \beta, \Theta_1/\Theta_0$ , odczytuje się z tablic  $C/\Theta_0$ , a następnie wyznacza wartość krytyczną  $C$ .

- Gdy:
- $\Theta^* \geq C$  to nie ma podstaw do odrzucenia partii
  - $\Theta^* < C$  to badaną partię należy odrzucić, jako niezgodną z wymaganiami

# Sekwencyjne plany badań

## Oznaczenia:

- $\Theta_0$  - kwalifikujący średni czas poprawnej pracy do uszkodzenia
- $\Theta_1$  - dyskwalifikujący średni czas poprawnej pracy do uszkodzenia
- $\alpha$  - ryzyko dostawcy (producenta)
- $\beta$  - ryzyko odbiorcy (użytkownika)

## Sekwencyjne plany badań

W odpowiednich tablicach (np.: Tablica 3), dla ustalonych wartości :  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Theta_0$  znajduje się liczbę najbliższą  $\Theta_1/\Theta_0$  :

Tabela 3. Fragment tabeli zawierającej parametry sekwencyjnego planu dla  $\alpha=0,05$

$\Theta_1/\Theta_0$	$r_{gr}$	$h_0/\Theta_0$	$h_1/\Theta_0$	$S/\Theta_0$	$t_{\Sigma gr}/\Theta_0$
<b>0,017</b>	<b>3</b>	<b>0,051</b>	<b>-0,051</b>	<b>0,070</b>	<b>0,211</b>
<b>0,075</b>	<b>6</b>	<b>0,239</b>	<b>-0,239</b>	<b>0,210</b>	<b>1,260</b>
<b>0,130</b>	<b>9</b>	<b>0,440</b>	<b>-0,440</b>	<b>0,305</b>	<b>2,743</b>
<b>1,176</b>	<b>12</b>	<b>0,628</b>	<b>-0,628</b>	<b>0,371</b>	<b>4,452</b>
<b>0,215</b>	<b>15</b>	<b>0,806</b>	<b>-0,806</b>	<b>0,421</b>	<b>6,315</b>

Zaleca się, aby w badaniach sekwencyjnych minimalna liczba badanych obiektów była równa odczytanemu  $r_{gr}$

## Sekwencyjne plany badań

Na podstawie danych odczytanych z tabeli wyznacza się równania prostych:

$$t_0(r) = h_0 + rs \quad r = 0, 1, \dots$$

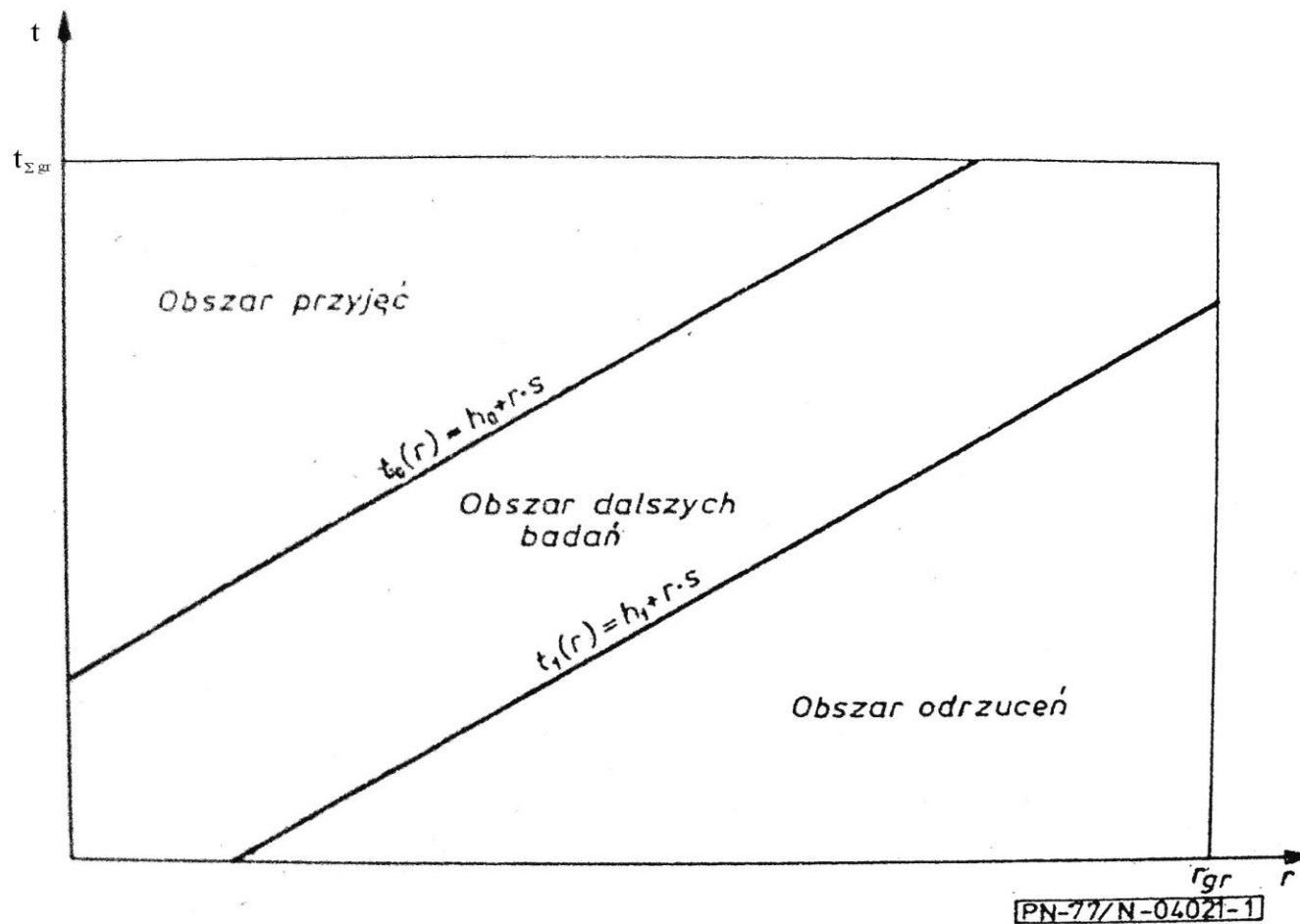
$$t_1(r) = h_1 + rs \quad r = 0, 1, \dots$$

$r$  – liczba uszkodzeń

W prostokątnym układzie współrzędnych przedstawia się graficznie wykresy tych równań.

# Sekwencyjne plany badań

Graficzny prezentacja planu badań sekwencyjnych



## Sekwencyjne plany badań

W badaniach sekwencyjnych bez wymiany, czas poprawnej pracy wyznacza się ze wzoru:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^r t_i + (n - r) \cdot t_r$$

W badaniach sekwencyjnych z wymianą, czas poprawnej pracy wyznacza się ze wzoru:

$$t_{\Sigma} = n \cdot t_r$$

$r$  – liczba uszkodzonych obiektów do chwili  $t_r$

$n$  – liczba badanych obiektów

$t_i$  – czas zaobserwowania uszkodzenia  $i$ -tego obiektu

## Sekwencyjne plany badań

### Jeżeli:

$t_{\Sigma} \geq h_0 + rs$  badanie przerywa się, partię z której  
pochodzi próbka przyjmuje się  
(obszar przyjęć)

$t_{\Sigma} \leq h_1 + rs$  badanie przerywa się, partię z której  
pochodzi próbka odrzuca się (obszar  
odrzuceń)

$h_1 + rs < t_{\Sigma} < h_0 + rs$  badanie kontynuuje się  
(obszar dalszych badań)

## Sekwencyjne plany badań

Plan badania ograniczony jest dwoma wielkościami:

$r_{gr}$  – graniczna liczba uszkodzeń

$t_{\Sigma gr}$  – graniczny sumaryczny czas ucięcia

Gdy liczba obiektów uszkodzonych równa jest granicznej liczbie uszkodzeń tj.  $r=r_{gr}$  badanie przerywa się, partię się odrzuca.

Gdy sumaryczny czas poprawnej pracy spełnia równość  $t_{\Sigma}=t_{\Sigma gr}$  badanie przerywa się, partię przyjmuje się.



# **STATYSTYCZNE SPRAWDZANIE ZGODNOŚCI ROZKŁADU CZASU POPRAWNEJ PRACY ORAZ CZASU NAPRAWY**

## I. Czas poprawnej pracy

**A.** Liczba  $n$  badanych egzemplarzy UE jest mała w takim sensie, że liczba zaobserwowanych realizacji  $t^k_1, t^k_2, \dots, t^k_3$  zmiennej losowej  $T^k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , nie jest wystarczająca dla ustalenia jej rozkładu (przyjmuje się, że ma to miejsce, gdy  $n < 7$ ).

Rozróżnia się dwa przypadki:

**A1.** istnieją uzasadnione podstawy do przyjęcia konkretnego rozkładu i należy tylko potwierdzić jego prawdziwość,

**A2.** nie ma podstaw do preferowania żadnego z rozkładów i należy wybrać go z kilku rozważanych.

**Przypadek A1.** zachodzi wówczas, gdy badane egzemplarze UE poddane zostały starzeniu wstępnemu w warunkach, które uprzednio sprawdzono i uznano za wystarczające do usunięcia uszkodzeń początkowych. Wówczas przyjmuje się, że zmienne, losowe  $T^k$ ,  $k = 1, 2, \dots$ , mają taki sam rozkład i, że jest to rozkład wykładniczy:

$$F^1(t) = F^2(t) = \dots = F(t)$$

Liczba  $r$  zaobserwowanych realizacji  $t_1, t_2, \dots, t_r$  zmiennej losowej  $T$  wyniesie <sup>1)</sup>:

$$r = \sum_{j=1}^n r_j$$

gdzie:  $r_j$  - liczba uszkodzeń zaobserwowanych w UE o numerze  $j$ .

Na podstawie uzyskanych danych dokonuje się:

- sprawdzenia zgodności rozkładu empirycznego  $F^*(t)$  z rozkładem wykładniczym, stosując test Cochran'a lub test Hartleya,
- oszacowania wartości średniej oraz wariancji  $s_T^2$  z zależności:

$$\bar{T}^* = \sum_{i=1}^r t_i$$

$$s_T^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (t_i - \bar{T}^*)^2$$

**Przypadek A2** zachodzi wówczas gdy nie jest znana historia egzemplarzy UE przeznaczonych do badania, tj. nie wiadomo czy i w jakich warunkach przeprowadzano starzenie wstępne. W takim przypadku wyznacza się oszacowanie  $T^*$  oraz  $s^2_{\mathcal{T}}$ . Jeśli otrzymane z obliczeń wartości  $T^*$  oraz  $s_{\mathcal{T}}$  są sobie w przybliżeniu równe, to można przypuścić, że rozkład hipotetyczny zmiennej losowej  $T$  jest rozkładem wykładniczym. Wówczas należy postąpić jak w przypadku **A1** i dokonać sprawdzenia zgodności rozkładu empirycznego z hipotetycznym.

**B.** Liczba  $n$  badanych egzemplarzy UE' jest duża w takim sensie, że liczba zaobserwowanych realizacji  $t^k, t^k, \dots, t^*$  zmiennej losowej  $T^k, k = 1, 2, \dots$ , jest wystarczająca do ustalenia jej rozkładu (wystarczy  $n \geq 7$ ).

W tym przypadku nie ma istotnego znaczenia, czy istnieją podstawy przyjęcia konkretnego rozkładu hipotetycznego zmiennych losowych  $T^k, k = 1, 2, \dots$ .

Mając wystarczające dane, przede wszystkim weryfikuje się hipotezę  $F^1(t) = F^2(t)$  oraz  $F^2(t) = F^3(t)$ , korzystając z testu Wilcoxona.

## II. Czas naprawy

Rozkład  $F_n(t)$  czasu naprawy  $T_n$  wyznacza się na podstawie zaobserwowanego rozkładu empirycznego  $F^*(t)_r$ . Jeśli, w czasie badania niezawodności UE liczba zaobserwowanych uszkodzeń UE jest za mała, to

uzupełnia się ją sztucznymi uszkodzeniami UE. W tym celu, z zestawienia ponumerowanych, możliwych uszkodzeń UE, losuje się brakującą ich liczbę w postaci numerów rodzaju uszkodzenia. Do losowania wykorzystuje się tablicę liczb losowych. Wprowadzane kolejno wylosowane rodzaje uszkodzeń są następnie naprawiane zgodnie z przyjętymi w badaniu zasadami.

W badaniach laboratoryjnych - tak kontrolnych jak i określających - dokonuje się wyłącznie oceny czynnego czasu naprawy, charakteryzującego UE. Ocena czasu naprawy wraz z biernym czasem naprawy jest możliwa tylko w badaniach eksploatacyjnych.

# Rozkład wykładniczy

Rozkład wykładniczy jest przyjmowany jako hipotetyczny rozkład czasu poprawnej pracy UE między kolejnymi uszkodzeniami. Zgodność rozkładu empirycznego z rozkładem wykładniczym sprawdza się stosując test Cochrańa lub test Hartleya.

**A. Test Cochrańa** stosuje się przy sprawdzaniu zgodności rozkładu, empirycznego  $F^*(t)$  z rozkładem wykładniczym. Znając z prowadzonego badania, np. jednego UE, czasy poprawnej pracy  $t^{(1)} \leq t^{(2)} \leq \dots \leq t^{(r)}$

Między kolejnymi uszkodzeniami wyznacza się wartości  $u_k$ , statystyki  $u_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, r$  ze wzoru

$$u_k \begin{cases} rt_{(1)} & \text{dla } k = 1 \\ (r-k+1)(t_{(k)} - t_{(k-1)}) & \text{dla } k = 2, 3, \dots, r \end{cases}$$

Hipotezę, że czas poprawnej pracy UE między uszkodzeniami ma rozkład wykładniczy, na przyjętym poziomie istotności  $\alpha$  należy odrzucić jeśli jest spełniona nierówność:

$$g = \frac{\max(u_1, u_2, \dots, u_r)}{u_1 + u_2 + \dots + u_r} \geq g_{r,2,1-\alpha}$$

Gdzie  $g_{r,2,2-\alpha}$  - kwantyl statystyki Cochran, odczytany z tablicy.

R	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$g_{r,2,0.95}$	0,9750	0,8709	0,7679	0,6838	0,6161	0,5612	0,5157	0,4775	0,4450
r	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
$g_{r,2,0.95}$	0,3924	0,3346	0,2705	0,2354	0,1980	0,1576	0,1131	0,0632	0

Jeśli  $g < g_{r,2,2-\alpha}$  to nie ma podstaw do kwestionowania słuszności postawionej hipotezy, że rozkład czasu poprawnej pracy między uszkodzeniami UE ma rozkład wykładniczy.



**B.** Test Hartleya stosuje się dla małych licznosci próbek ( $r < 12$ ), zatem jest on przy małych licznosciach bardziej precyzyjny niż test Cochran. Test Hartleya polega na wyznaczeniu wartości  $u_1^*, u_2^*, \dots, u_r^*$  wg wcześniejszego wzoru, a następnie wartości  $\eta$  statystyki Hartleya ze wzoru:

$$\eta = \frac{\max(u_1, u_2, \dots, u_r)}{\min(u_1, u_2, \dots, u_r)}$$

Jeśli

$$\eta \geq \eta_{r,2,1-\alpha}$$

gdzie:  $\eta_{r,2,1-\alpha}$  odczytany z tablicy kwantyl statystyki Hartleya, to na poziomie, istotności  $\alpha$  należy weryfikowaną hipotezę odrzucić. W przeciwnym przypadku nie ma podstaw do jej kwestionowania.

## Rozkład logarytmo-normalny

Rozkład logarytmo-normalny przyjmuje się zazwyczaj jako hipotetyczny rozkład czasu naprawy UE. Sprawdzenie zgodności rozkładu empirycznego czasu naprawy  $T_n$  z rozkładem logarytmo-normalnym przeprowadza się testem Kołmogorowa-Smirnowa. Ponieważ liczba zaobserwowanych realizacji zmiennej losowej  $T_n$  jest zwykle mała kilka lub kilkanaście - zatem można korzystać z tablic kwantyli  $d_{r,1-\alpha}$  statystyki  $D_r$  wykorzystywanej w danym teście (tablica). Na podstawie zaobserwowanych wartości  $t_n^{(1)} \leq t_n^{(2)} \leq \dots \leq t_n^{(r)}$  czasu naprawy  $T_n$  wyznacza się dystrybuantę empiryczną  $F^*(t_n)$ . Wartość  $d_r$  statystyki  $D_r$  wyznacza się ze wzoru:

$$d_r = \max_{1 \leq i \leq r} [|F^*(t_n^{(i)}) - F_H(t_n^{(i)})|] = \max_{1 \leq i \leq r} [|\frac{i}{r} - F_H(t_n^{(i)})|]$$

gdzie:  $F_H(t_n^{(i)})$  - wartość dystrybuanty rozkładu logarytmo-normalnego w punkcie  $t_n^{(i)}$

Wyznaczoną wartość  $d_r$  porównuje się z wartością krytyczną  $d_{r,1-\alpha}$  odczytaną z tablic. Jeśli jest:

$$d_r \geq d_{r,1-\alpha}$$

to, na poziomie istotności  $\alpha$ , należy odrzucić hipotezę, że rozkład czasu naprawy jest rozkładem logarytmo-normalnym. Jeśli natomiast jest

$$d_r < d_{r,1-\alpha}$$

to należy uznać, że zgodność rozkładu empirycznego  $F^*(t_n)$  czasu naprawy  $T_n$  z rozkładem logarytmo-normalnym jest wystarczająca.

# NIEZAWODNOŚĆ SYSTEMÓW I SIECI INFORMATYCZNYCH

# Co oznacza określony poziom niezawodności i dostępności systemu informatycznego

<b>Ilość "dziewiątek"</b>	<b>Procentowa dostępność systemu w roku</b>	<b>Czas trwania awarii w roku</b>	<b>Jednostka</b>	<b>Czas trwania awarii w tygodniu</b>	<b>Jednostka</b>
1	90%	37	Dni	17	Godziny
2	99%	3,65	Dni	1,41	Godziny
3	99,9%	8,45	Godziny	10,5	Minuty
4	99,99%	52,5	Minuty	1	Minuty
5	99,999%	5,25	Minuty	6	Sekundy
6	99,9999%	31,5	Sekundy	0,6	Sekundy

# Pożądany poziom zabezpieczeń zależny od profilu instytucji

Profil instytucji i poziom zabezpieczenia	
Profil instytucji	Poziom zabezpieczenia systemu informacyjnego
Uszkodzenie systemu informacyjnego prowadzi do całkowitego załamania instytucji i może mieć poważne konsekwencje polityczne, społeczne lub ekonomiczne.	maksymalny
W przypadku uszkodzenia systemu informacyjnego część organizacji nie może funkcjonować. Dłuższe utrzymywanie się tego stanu może mieć poważne konsekwencje dla instytucji lub jej partnerów.	wysoki
Konsekwencją poważnego i długotrwałego uszkodzenia systemu informacyjnego może być upadek instytucji.	średni
Uszkodzenie systemu informacyjnego może spowodować jedynie niewielkie perturbacje w funkcjonowaniu instytucji.	niski

# Niezawodność SK

- Zagadnienie niezawodności systemów i sieci komputerowych wiąże się z potrzebą zapewnienia usług **dyspozycyjności** oraz **integralności**
- **Dyspozycyjność** (ang. availability) - usługa zapewnia uprawnionym osobom możliwość ciągłego korzystania z zasobów systemu w dowolnym czasie
- **Integralność** (ang. integrity) - usługa zapewnia, że dane zawarte w systemie lub przesyłane przez sieć nie będą zmienione lub przekłamane

# Typy najczęściej spotykanych zagrożeń w sieci komputerowej

- ◆ fałszerstwo komputerowe,
- ◆ włamanie do systemu, czyli tzw. hacking,
- ◆ oszustwo, a w szczególności manipulacja danymi,
- ◆ manipulacja programami,
- ◆ oszustwa - manipulacje wynikami,
- ◆ sabotaż sprzętu komputerowego,
- ◆ piractwo,
- ◆ podsłuch,
- ◆ niszczenie danych oraz programów komputerowych



# Zagrożenia dyspozycyjności w systemach i sieciach

- Zagrożenia **pasywne** związane z kataklizmami oraz awariami niezależnymi od działań człowieka (np. powódź, trzęsienie ziemi, huragan, awaria zasilania, awaria sprzętu)
- Zagrożenia **aktywne** powodowane przez świadome działanie człowieka mające na celu zniszczenie lub spowodowanie awarii (np. wirusy, terroryzm, wandalizm, inżynieria społeczna)
- Ataki typu:

**DoS** (ang. Denial of Service - przeciążeniu aplikacji serwującej określone dane czy obsługującej danych klientów (np. wyczerpanie limitu wolnych gniazd dla serwerów FTP czy WWW),

**DDoS** (ang. Distributed DOS - odmiana ataku DoS polegająca na zaatakowaniu systemu komputerowego z wielu komputerów jednocześnie)

**DRDoS** (ang. Distributed Reflected Denial of Service - ataki wzmocnionego odbicia np. z wykorzystaniem sfałszowanego adresu IP)

# Mechanizmy obrony sieci komputerowych przed awariami

- Budowanie sieci z elementów **odpornych na awarie**, mających jak najmniejsze prawdopodobieństwo uszkodzenia, czyli parametry związane z niezawodnością, np. **MTBF**
- Projektowania sieci uwzględnić także kryteria związane z **przeżywalnością** (ang. *survivability*) sieci, czyli odpowiednie przygotowanie sieci (topologia sieci, przepływy, reguły sterowania przepływem) na wystąpienie uszkodzenia i umożliwiające pracę sieci pomimo awarii
- Projektowanie sieci **samonaprawialnych** (ang. *self-healing*), które posiadają zdolność do samodzielnego wykrycia uszkodzenia i przekonfigurowania własnych zasobów w ten sposób, aby uszkodzenie w jak najmniejszym stopniu wpłynęło na jakość działania sieci
- Podstawowym mechanizmem w celu zapewnienia niezawodności jest **redundancja** (nadmiarowość) elementów sieci komputerowej

# Koncepcje reakcji na awarię w sieciach przeżywalnych

- **Protekcja** (ang. protection). Stosowana zazwyczaj w sposób rozproszony, bez centralnego sterowania. Zakłada, że zapasowe zasoby sieci przygotowane na wypadek awarii są przydzielane przed wystąpieniem awarii. W momencie awarii następuje tylko przełączenie ruchu sieciowego na wcześniej przygotowane zapasowe zasoby, metoda działa bardzo szybko
- **Odtworzenie** (ang. restoration). Stosowany w sposób rozproszony lub scentralizowany. Cechuje się brakiem wstępnie rezerwowanych zasobów zapasowych. Po wystąpieniu awarii dynamicznie próbuje odzyskać łączność w sieci wykorzystując wolne zasoby sieci. Czas działania jest dość duży, ale brak wstępnej rezerwacji zapewnia elastyczność

# Rodzaje redundancji

- **Sprzętowa** – duplikowane są urządzenia sieciowe, serwery, zasilanie itd.
- **Połączeń** – dodawane są nadmiarowe łącza w sieci w celu zapewnienia alternatywnych tras przesyłania danych
- **Programowa** – dodawane są mechanizmy wspomagania procesu powrotu sieci do normalnej pracy po awarii

# Redundancja sprzętowa

Należy w sieci instalować nadmiarowe elementy zabezpieczające najważniejsze funkcje sieci:

- **Zewnętrzne nośniki informacji** (archiwizacja, streamery, sieci SAN)
- **Dyski** w serwerze (mirroring, duplexing, macierze RAID)
- **Serwery** (klastry serwerów)
- **Przełączniki**
- **Routery**
- **Zasilacze**

# Redundancja połączeń

- Połączenia **redundancyjne** to dodatkowe połączenia fizyczne względem połączeń podstawowych
- Oznacza to, że w sieci istnieją **co najmniej dwie trasy** między parą węzłów
- **Gorący backup** (ang. Hot Backup) - mechanizm działa w warstwie 2 (łącza danych) i do uaktywnienia zapasowych połączeń używa protokołu **STP** (ang. Spanning Tree Protocol)
- **Równoległość** (paralelizm) - mechanizm używa **protokołów routingu** działających w warstwie 3 - sieciowej (np. RIP, OSPF)

# Samonaprawialne pierścienie

- Metoda polega na utworzeniu sieci o topologii **pierścienia** składającej się ze specjalnie skonstruowanych urządzeń (przełączników)
- Zazwyczaj istnieją **dwa pierścienie** łączące wszystkie węzły, każdy z tych pierścieni transportuje dane w przeciwnym kierunku
- W razie awarii węzła lub odcinka pierścienia, przełączniki **przekierowują** przepływ z uszkodzonego pierścienia na drugi pierścień
- Odtworzenie dla tej metody jest bardzo **szybkie**, główna wada to narzucona topologia sieci i **ograniczona skalowalność**
- Przykład: technologia **FDDI**

# Redundancja połączenia z Internetem

- Ponieważ w wielu przypadkach działalność przedsiębiorstwa/instytucji zależy od łączności z Internetem należy zapewnić **wysoką niezawodność** tego połączenia
- W tym celu można wykorzystać łącza od **dwóch operatorów** (ang. dual homing)
- Aby zapewnić jak największą niezawodność należy sprawdzić czy obydwa podłączenia do Internet są **rozłączne** (nie mają wspólnych elementów)
- Można zastosować równoważenie obciążenia (ang. **load balancing**) w celu równomiernego wykorzystania obu łączy



# Redundancja programowa

- **Protokół drzewa opinającego STP** (ang. Spanning Tree Protocol) umożliwia tworzenie w warstwie 2 nadmiarowych łączy, które są nieaktywne w celu uniknięcia pętli w sieci
- **Protokoły routingu** w warstwie 3 zapewniają wyznaczenie nowych tras w przypadku awarii sieci
- **Ochrona mechanizmu domyślnej bramy** (ang. default gateway) w protokole IP

# Redundancja minimalnego poziomu

- Wymagana praca sieci na **jedną zmianę**
- Przerwy pracy sieci na **konserwację** można planować **po godzinach pracy**
- Uszkodzenia sieci powodują **minimalne straty** i nieznacznie zmniejszają wydajność pracy użytkowników.
- Redundancja realizowana jest za pomocą **nadmiarowości w sprzęcie** (duplikacja urządzeń)
- **Przykłady:** szkoły, biblioteka

# Redundancja średniego poziomu

- Wymagana praca sieci przez co najmniej **dwie zmiany** na dobę
- **Serwery** muszą pracować **przez przerwy**
- Przerwy pracy sieci na **konserwację** można planować **w weekendy**
- Uszkodzenia najważniejszych elementów sieci powodują **straty i zmniejszają wydajność** pracy użytkowników
- Redundancja realizowana jest za pomocą **nadmiarowości w najważniejszym sprzęcie** (duplikacja routerów, przełączników), **redundancji programowej, redundancji połączeń**
- **Przykłady:** firmy produkcyjne, sklepy

# Redundancja wysokiego poziomu

- Wymagana praca sieci **bez przerwy**
- **Przerwy** pracy sieci muszą być **planowane z wyprzedzeniem**
- Uszkodzenia elementów sieci powodują **duże straty i uniemożliwiają pracę** użytkowników
- Redundancja realizowana jest za pomocą **kombinacji** redundancji sprzętowej, redundancji programowej, redundancji połączeń, redundancji UPS, itd.
- **Przykłady:** banki, szpitale, elektrownie

# Archiwizacja

- Archiwizacja polega na **przenoszeniu plików** (migracji) na zewnętrzne nośniki informacji o dużej pojemności
- Archiwizowany plik jest **usuwany z systemu**, robiąc miejsce dla nowych danych
- Taśmy archiwalne są zapisywane **jednorazowo**
- **Nie jest zalecana** pełna archiwizacja (kopia wszystkich plików systemu), gdyż wymaga to dużo czasu, miejsca na nośniku
- Zazwyczaj archiwizowane są pliki, które zostały **zmodyfikowane** od ostatniej archiwizacji

# Kopie bezpieczeństwa

- Kopie bezpieczeństwa tworzone są w celu **zabezpieczenia** bieżących i aktualnych danych **przed** przypadkowym **zniszczeniem**
- Backup jest to **wierna kopia** informacji z roboczej pamięci masowej systemu tworzona w sposób prawie ciągły na wypadek awarii przez z góry określony czas
- To umożliwia **odtworzenie** stanu informacji z okresu przed awarii

# Macierze dyskowe

- Wady kopii zapasowych powodują, że do składowanie danych stosowane są macierze dyskowe typu **RAID** (ang. Redundant Array of Independent Disks)
- Zasada działania w systemie RAID polega na **zapisywaniu** danych **na wielu dyskach**, co zmniejsza ryzyko utraty danych ze względu na awarię dysku
- Macierze RAID mogą być realizowane **programowo** (przez system operacyjny) lub **sprzętowo** (odpowiedni kontroler dysku)

# Bezpieczne zasilanie

- Jedną z przyczyną strat w sieciach i systemach informatycznych są problemy z **zasilaniem** z sieci energetycznej
- Podstawowe **zagrożenia** to: fluktuacje częstotliwości, spadki napięcia, wyższe harmoniczne, szумы, krótkotrwałe zaniki, dłuższe przerwy czy okresowe przepięcia
- **Bezpieczne zasilanie** to bezawaryjny system dostarczania wysokiej jakości mocy elektrycznej do urządzeń sieci informacyjnej czy telekomunikacyjnej, spełniający przy tym ściśle określoną liczbę wymagań, w tym ochronę przed wspomnianymi zagrożeniami



# Warianty zabezpieczenia zasilania

- **Zasilania rozproszone** wykorzystujące wiele zasilaczy UPS zasilających poszczególne urządzenia systemu
- **Zasilania strefowe**, w którym zasilacz UPS zabezpiecza grupę urządzeń
- **Zasilania centralne** - UPS zasila wszystkie urządzenia pracujące w ramach systemu teleinformatycznego

# Rozwiązania klastrowe

**Klaster** to zgrupowane zasoby informatyczne (komputery/urządzenia dyskowe) połączone siecią komputerową realizowane w różnych celach:

- Zwiększenie dostępnej **pamięci dyskowej**
- Zwiększenie **mocy obliczeniowej**
- Skrócenie **dostępu** do danych
- Zapewnienie **spójności i niezawodności** systemu

Przykłady systemów klastrowych to **Gridy**, sieci **P2P**

# Disaster Recovery

## (odtwarzanie awaryjne)

- Wzrost zagrożenia **terroryzmem** uświadomił konieczność przygotowania instytucji i przedsiębiorstw do sprawnego reagowania na nieprzewidziane zagrożenia
- Dla zabezpieczenia systemu przed tego typu zagrożeniami niezbędne jest opracowanie **planu ratunkowego DRP** (ang. Disaster Recovery Plan)
- Ważnym mechanizmem stosowanym w DRP są **centra zapasowe** lub **internetowe centra danych** umożliwiające składowanie danych w lokalizacji odległej od siedziby firmy

# Ochrona danych podczas transmisji

Łatwiejsze do zdefiniowania i do **wyegzekwowania** są z reguły działania techniczne.

Najważniejsze z działań technicznych polegają na szyfrowaniu przesyłanych i przechowywanych informacji oraz korzystanie z techniki podpisów elektronicznych.

Bezpieczne algorytmy realizacji transakcji w sieciach komputerowych oparte są na kryptografii.

Najczęściej stosowanymi **algorytmami kryptograficznymi z kluczem jawnym**, mającymi na celu ochronę danych podczas transmisji internetowych wykorzystywanych w handlu elektronicznym, są algorytmy RSA i ElGamala.