

Podstawowe charakterystyki niezawodności

Wstęp

Niezawodność $R(t)$ to prawdopodobieństwo pewnych zdarzeń

Intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ wyraża prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia w ciągu jednostki czasu pracy w określonych warunkach

Statystyka matematyczna daje nam możliwość wyznaczenia jedynie

estymatorów,

a jak jest wartość rzeczywista nie wiemy

Estymator intensywności uszkodzeń

- przedział ufności, który z określonym prawdopodobieństwem β zawiera wartość rzeczywistą λ

$$P\{ \lambda_d \leq \lambda \leq \lambda_g \} = \beta$$

$$P\{ \lambda_d \leq \lambda \leq \lambda_g \} = \beta$$

λ_d, λ_g - dolna i górna granica przedziału ufności,

β - poziom ufności, zwykle 0,6 lub 0,9

Rodzaj elementu	λ [$\times 10^{-6}$ 1/h]
Połączenia lutowane	0,01
Połączenia owijane	0,001
Kondensatory	0,1 – 2
Rezystory objętościowe	0,05
Rezystory warstwowe	0,02
Tranzystory krzemowe	0,08 – 0,8
Mikroukłady analogowe	0,3
Mikroukłady cyfrowe	0,1

Podstawowe charakterystyki niezawodności

- liczbowe,
- funkcyjne.

Obiekty nienaprawialne

Liczbowe

FIT – średni czas pracy do uszkodzenia



uszkodzenie/10⁶ godzin
/10⁶ godzin

10⁶ godzin
41 666,6 dni
117,04 lat



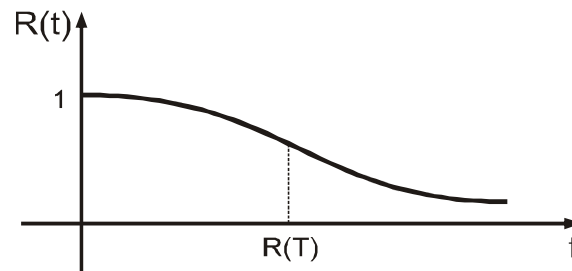
Failed in time

R (T) – niezawodność jako prawdopodobieństwo

$$R(T) = \frac{m}{n}$$

m – liczba poprawnie pracujących wyrobów czasie T,
n – liczba wyrobów, które rozpoczęły pracę w momencie t = 0

wykres →



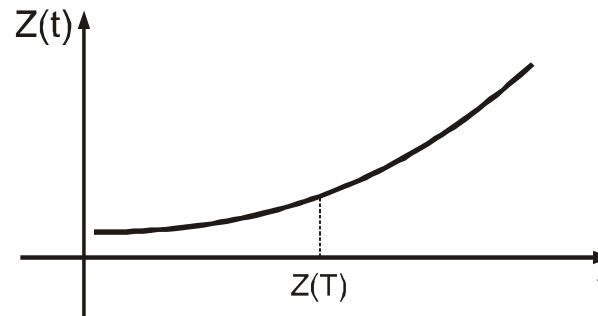
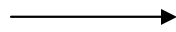
Reliability

Z (T) – wskaźnik uszkodzeń

$$Z(T) = \frac{n - m}{n}$$

m – liczba poprawnie pracujących wyrobów czasie T,
n – liczba wyrobów, które rozpoczęły pracę w momencie t = 0

wykres



Liczba uszkodzeń odniesiona do czasu →

% uszkodzeń/10⁶ godzin
/10⁹ godzin

Failure rate

W normach podawane są

Wadliwość dopuszczalna – AQL/1000 h

Liczba uszkodzeń, która może wystąpić po 1000 godzin

Accepted quality limit

Wadliwość dyskwalifikująca – LTPD/1000 h

Liczba uszkodzeń, która dyskwalifikuje oszacowany wskaźnik

Lot Tolerance Percent Defective

Badania kontrolne

Mil-S-19500

Mil-M-38510

Rzadziej stosowane wskaźniki

Średnie ryzyko uszkodzenia w czasie eksploatacji

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^*$$

n - liczba obiektów,
 t_i^* - czasy kolejnych uszkodzeń.

Wariancja i odchylenie standardowe

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i^* - \bar{\mu})^2 \quad \sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Przykład

$n = 10$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_i^*	33	36	41	48	63	84	101	107	116	132

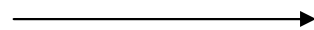
$$\bar{\mu} = 76 \quad \sigma^2 = 1135 \quad \sigma = 37$$

Wskaźniki funkcyjne

- dystrybuanta czasu poprawnej pracy $F(t)$,
- funkcja gęstości uszkodzeń $f(t)$,
- funkcja intensywności uszkodzeń – funkcja ryzyka $\lambda(t)$,
- funkcja niezawodności $R(t)$.

Dystrybuanta czasu poprawnej pracy $F(t)$

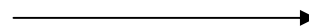
$$F(t) = P[t < t_1]$$



uszkodzenie wyrobu nastąpi
nie później niż w chwili t_1

Funkcja niezawodności $R(t)$

$$R(t) = P[t \geq t_1]$$



uszkodzenie wyrobu nastąpi
nie wcześniej niż w chwili t_1

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

Funkcja gęstości uszkodzeń $f(t)$

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

określa szybkość zmian liczby uszkodzonych
wyrobów w obserwowanej populacji

Dystrybuanta i funkcja niezawodności mogą być wyrażone przez funkcję gęstości uszkodzeń

$$F(t) = \int_0^t f(u) du \quad R(t) = \int_t^{\infty} f(u) du$$

Prawdopodobieństwo, że wyrób uszkodzi się w przedziale $[t, t + \Delta t]$ wynosi $f(t) \cdot \Delta t$, przy założeniu, że Δt jest małe

$$P[t < t \leq t + \Delta t] \approx f(t) \cdot \Delta t$$

Funkcja intensywności uszkodzeń – funkcja ryzyka $\lambda (t)$

Pobieramy do badań próbę reprezentatywną składającą się z n wyrobów

Należy znaleźć prawdopodobieństwo zdarzenia, że wyrób, który pracował od rozpoczęcia badań ($t = 0$) uległ uszkodzeniu w przedziale czasu $[t, t + \Delta t]$

$$P [t, \Delta t]$$

Z definicji – prawdopodobieństwo jest stosunkiem liczby zdarzeń elementarnych do ogólnej liczby zdarzeń

Liczba zdarzeń elementarnych - $n \cdot f (t) \cdot \Delta t$

każdy z wyrobów może ulec uszkodzeniu w przedziale $[t, t + \Delta t]$

Ogólna liczba zdarzeń elementarnych - $n \cdot R (t)$

Wobec tego prawdopodobieństwo zdarzenia można zapisać jako:

$$P[t, \Delta t] = \frac{n \cdot f(t) \cdot \Delta t}{n \cdot R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \Delta t$$

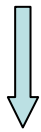
Funkcja intensywności uszkodzeń jest definiowana jako prawdopodobieństwo zdarzenia losowego (uszkodzenia wyrobu) w przedziale czasu $[t, t + \Delta t]$ odniesione do czasu trwania przedziału Δt

$$\lambda(t) = \frac{P[t, \Delta t]}{\Delta t} = \frac{\frac{f(t)}{R(t)} \Delta t}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Zależności

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

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



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

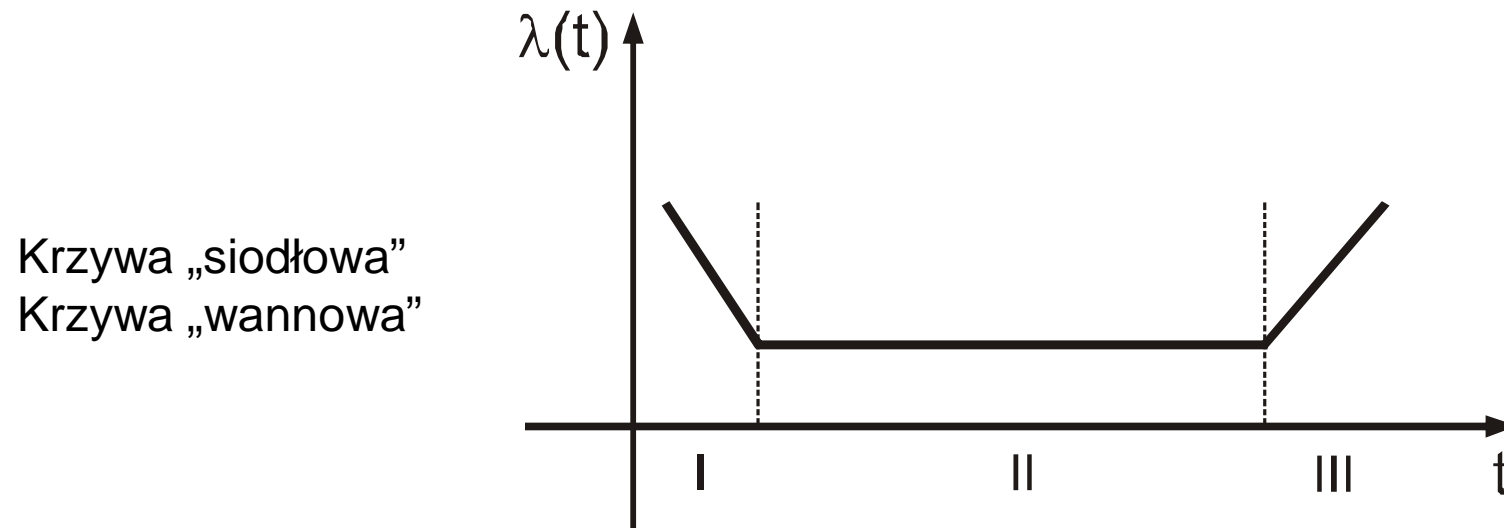
$$\frac{-dR(t)}{dt R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

przy założeniu, że $R(0) = 1$

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

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(u) du\right]$$

Okres życia wyrobów (obiektów) nienaprawialnych



Krzywa stosowana od lat 50. XX wieku – na podstawie analizy czasu życia lamp elektronowych i pierwszych maszyn cyfrowych

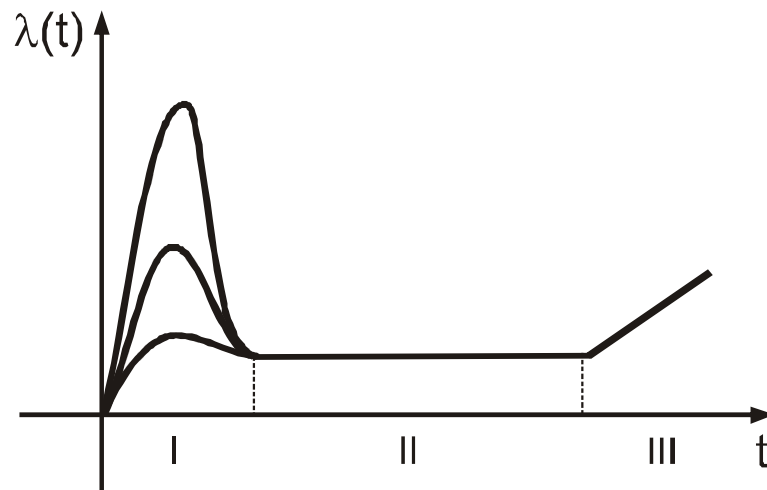
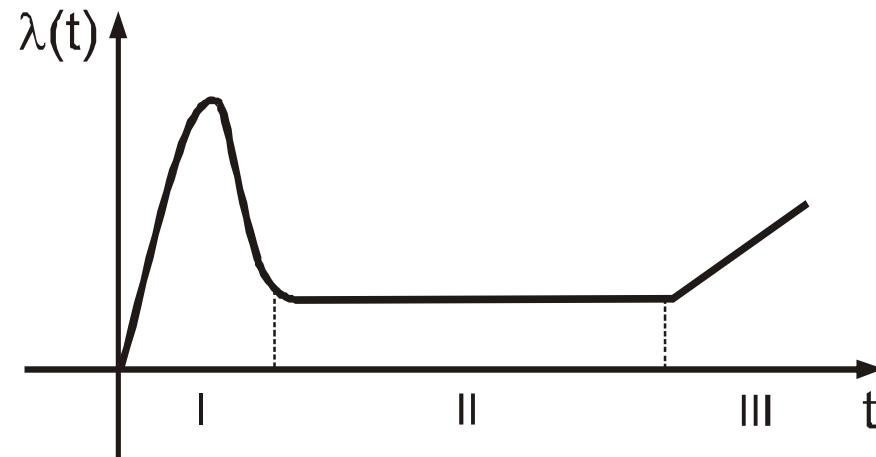
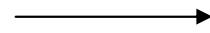
Trzy okresy życia:

- I – okres uszkodzeń wczesnych, uszkodzeniu ulegają wyroby o złej jakości, wadliwe,
- II - okres normalnej eksploatacji, liczba uszkodzeń jest stała, uszkodzenia są przypadkowe, wynikające z przeciążeń, niepoprawnych warunków pracy,
- III – okres zużycia

Obecnie wzorem określającym przebieg funkcji ryzyka jest krzywa „grzbietowa”

Podział jest podobny, ale okres uszkodzeń wczesnych może mieć różny przebieg

wykres



Charakterystyki obiektów naprawialnych (odnawialnych)

1. Obiekty z pomijalnym czasem odnowy
2. Obiekty z istotnym czasem odnowy

1. Obiekty z pomijalnym czasem odnowy

Liczbowe

Średni czas pracy między uszkodzeniami (w określonym czasie T)

MTBF Mean Time between Failure

Średni czas pracy do uszkodzeń (w określonym czasie T)

MTTF Mean Time to Failure

$$MTTF = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_m}{m}$$

gdzie: m – liczba uszkodzeń w czasie T,
t_i - i - ty czas do uszkodzenia

MTBF

Średni czas międzyawaryjny

Przykład

Zastosowanie do określenia żywotności twardych dysków

MTBF wynosi 200 000 godzin – określony dla danej serii dysków

MTBF – 200 tysięcy godzin, czyli prawdopodobieństwo uszkodzenia dysku

w ciągu roku jest równe około 4,5%

200 000 godzin: 24 = 8333.3 dni : 356 = 23,4 lat

23,4 – 100%

1 - 4,27%

Mamy 22 dyski – 1 dysk w ciągu roku może ulec uszkodzeniu, - pracuje 24 godziny

Jeżeli pracuje mniej, to

2. Obiekty z istotnym czasem odnowy

Współczynnik gotowości technicznej (dyspozycyjności)

$$k_g = \lim_{t \rightarrow \infty} k_g(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MRT}$$

gdzie: MRT – średni czas napraw

Mean Repair Time

k – prawdopodobieństwo, że w danej chwili t wyrób (obiekt) będzie zdalny do pracy,

t_i – i –ty czas do uszkodzenia, czyli zmienna losowa \underline{t}

Funkcyjne

Charakterystyka niezawodności wyrobów (obiektów) odnawialnych
– **funkcja odnowy $H(t)$**

Definiowana jest jako oczekiwana liczba m odnów wyrobu (obiektu) od momentu rozpoczęcia jego pracy do chwili t

Gęstość odnowy $\Lambda(t)$ – szybkość narastania liczby dokonywanych odnów

z upływem czasu pracy t

$$\Lambda(t) = \frac{dH(t)}{dt}$$

Związek między $H(t)$ i $\Lambda(t)$ można zapisać:

$$H(t) = \int_0^t \Lambda(u) du$$

Charakterystyki niezawodnościowe wyrobów (obiektów) **pracujących na żądanie**

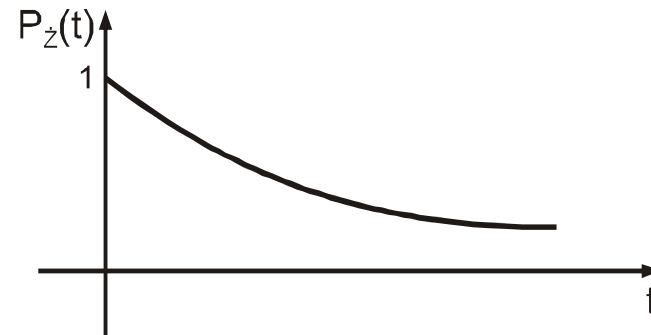
Wyroby pracujące na żądanie:

- nieodnawialne,
- odnawialne.

Wyroby nieodnawialne

$P_z(t)$ – prawdopodobieństwo pracy na żądanie

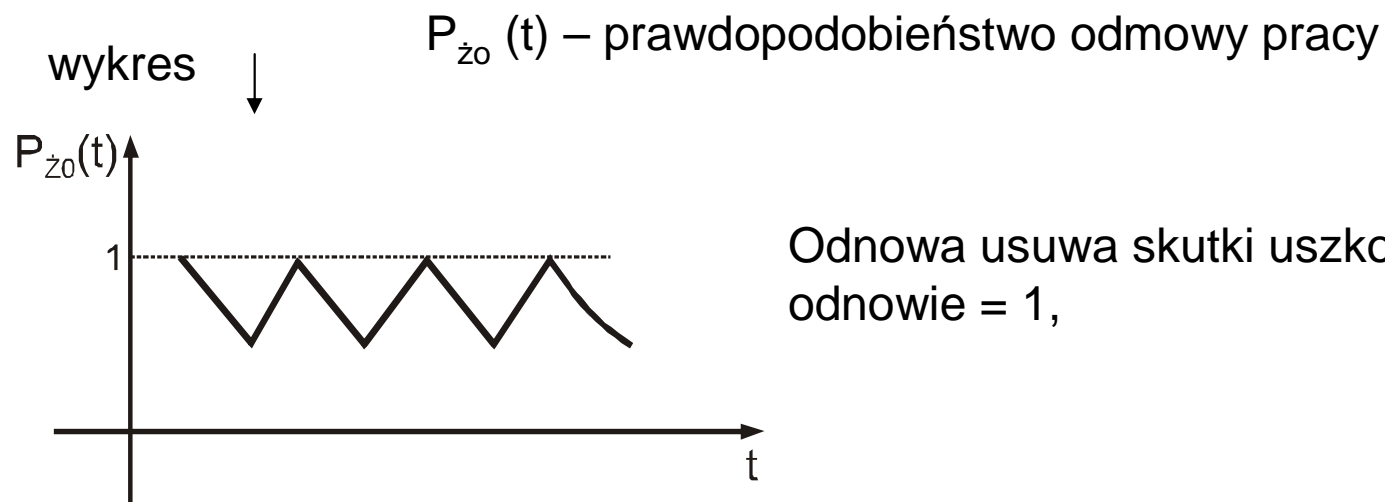
wykres



$P_z(t)$ jest zwykle funkcją monotonicznie malejącą, bo w wyrobie (obiekcie) zachodzą zmiany związane z procesami starzenia, nawet jeżeli wyrób nie pracuje.

$P_z(t)$ wyrobu (obektu) odnawialnego jest funkcją okresową. Dzięki naprawom uszkodzenia są usuwane, a więc i procesy starzenia nie występują w sposób oczywisty.

Wyroby odnawialne



$P_{z0}(t)$ wyrobu (obiektu) odnawialnego jest funkcją okresową. Dzięki naprawom uszkodzenia są usuwane, a więc i procesy starzenia nie występują w sposób oczywisty.

W rzeczywistości efekty starzenia mimo napraw też występują i funkcja $P_{z0}(t)$ jest funkcją okresową, malejącą.

