



NK315

EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

dr inż. Kamila Kustroń

dr inż. Kamila Kustroń



NK315 EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

1. Wykład wprowadzający w interdyscyplinarną tematykę eksploatacji statków latających; HARMONOGRAM ZAJĘĆ, WARUNKI ZALICZENIA; bibliografia
2. Statek latający jako przedmiot eksploatacji, system eksploatacji, uwarunkowania prawne i normatywne eksploatacji, organizacje lotnicze
3. Procesy degradacyjne i destrukcyjne. Zużycie zmęczeniowe i korozja
4. Zużycie tribologiczne, uszkodzenia kompozytów. Wprowadzenie do problematyki zdolności do lotu
5. **Własności i właściwości eksploatacyjne: niezawodność, gotowość, odpowiedniość, bezpieczeństwo, trwałość, żywotność, podatność eksploatacyjna.**
Obliczanie prostych charakterystyk eksploatacyjnych na podstawie danych z eksploatacji
6. Diagnostyka, badanie uszkodzeń, wypadków lotniczych i prototypów
7. Model utrzymania SP w ciągłej zdolności do lotu. CAME
8. Program obsługi technicznej, program niezawodności
9. Czynniki ludzkie w lotnictwie
10. Bezpieczeństwo lotów. SMS
11. Podsumowanie treści wykładów z ukierunkowaniem na kolokwium
12. Kolokwium
13. Omówienie wyników kolokwium
14. Kolokwium poprawkowe
15. Podsumowanie przedmiotu

dr inż. Kamila Kustroń

STATEK POWIETRZNY

WŁASNOŚCI

- funkcja lotna
- warunki użytkowania i utrzymania
- wymiary, masa, zapas paliwa,
- wytrzymałość stateczność
- potencjał eksploatacyjny użytkowy
- sterowalność
- przywracalność

WŁĄCZNOŚCI

- **funkcjonalność**
 - użytkowa
 - obsługowa
 - utrzymanie zdolności
- **wartość**
- **przechowywalność**
- **niezawodność**
- **bezpieczeństwo**
- **ergonomiczność**
- **żywołność**
- **gotowość**
 - techniczna
 - operacyjna
- **trwałość**
 - godzinowa
 - kalendarzowa
 - międzyremontowa
 - ekonomiczna
- **podatność eksploatacyjna**
 - użytkowa
 - obsługowa
 - diagnostyczna
 - remontowa
 - napraw
 - modernizacyjna
 - technologiczna
 - magazynowa
 - transportowa
 - ergonomiczna
 - do przebazowywania
 - na odnowę
 - profilaktyczna
 - likwidacyjna
- **utrzymywania SP w gotowości**
- **testowalność**
- **odporność na oddziaływanie środowiska**
- **odporność na uszkodzenia**
- **odporność na zużycie, korozję**
- **odporność na zmęczenie materiałów**
- **efektywność**
- **odpowiedniość**





Strategie eksploatacyjne

Historycznie

- według bezpiecznej trwałości (resursy) **SAFE LIFE**
- według stanu technicznego **ON-CONDITION**
 - z kontrolowaniem parametrów
 - z kontrolowaniem poziomu niezawodności
RCM, ATA MSG3
- ciągłego monitorowania stanu technicznego **CONDITION MONITORING**

Elementy główne struktury SSIs, SMI

dr inż. Kamila Kustroń



ZAPEWNIENIE WYSOKIEGO POZIOMU NIEZAWODNOŚCI W:

❖ **PROJEKTOWANIU**

❖ **WYTWARZANIU**

❖ **BADANIACH PROTOTYPOWYCH**

❖ **EKSPLOATACJI**

dr inż. Kamila Kustroń

ANALIZA NIEZAWODNOŚCIOWA

Element niezawodnościowy – obiekt mający własne charakterystyki niezawodności

System niezawodnościowy – zbiór elementów połączonych ze sobą, o charakterystyce niezawodnościowej będącej funkcją charakterystyk elementów składowych

System złożony - wykonuje się w nim szereg funkcji

Model – odwzorowanie rzeczywistości przy określonych założeniach i przybliżeniach

MODELE

Modele oparte o schematy blokowe

Modele oparte o procesy Markowa

Modele symulacyjne (Monte Carlo)

Modele typu drzewo uszkodzeń

Modele typu drzewo zdarzeń

oznaczenia

λ - intensywność uszkodzeń

μ - intensywność odnowy



CHARAKTERYSTYKI NIEZAWODNOŚCIOWE

I

WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI

dr inż. Kamila Kustron



Niezawodność opisywana jest przez tzw. charakterystyki niezawodnościowe, które dodatkowo zdefiniowane są poprzez właściwości przypisywane statkom powietrznym:

- **nieuszkodzalność (ogólna i operacyjna)**
- **odnawialność (podatność: naprawcza, remontowa oraz wymiana i zamiana części lub podzespołów)**
- **obsługiwalność**
- **bezpieczeństwo**
- **gotowość**
- **trwałość**
- **efektywność**
- **odpowiedniość**

dr inż. Kamila Kustroń

FUNKCYJNE WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI

$$1. Q(t) = P(T > t)$$

funkcja zawodności
(dystribuanta)

$$2. R(t) = 1 - Q(t)$$

funkcja niezawodności

$$3. f(t) = \frac{dR(t)}{dt}$$

funkcja gęstości
prawdopodobieństwa

$$4. \lambda(t) = \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

funkcja intensywności
uszkodzeń

$$5. \Lambda(t) = \int_0^t \lambda(\tau) d\tau$$

funkcja wiodąca
(skumulowana
intensywność uszkodzeń)

FUNKCYJNE WSKAŹNIKI NIEZAWODNOŚCI

Związki pomiędzy
wskaźnikami w
„Podstawy Eksploatacji
Statków Powietrznych”
t.2, str.73

$$1. Q(t) = P(t)$$

$$2. R(t) = Q(t) = P(t)$$

$$3. f(t) = \frac{dR(t)}{dt}$$

$$4. \lambda(t) = \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

$$5. \Lambda(t) = \int_0^t \lambda(\tau) d\tau$$

$R(t) =$		$1 - Q(t)$	$\int_t^{\infty} f(x) dx$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(x) dx\right]$	$\exp[-\Lambda(t)]$
$Q(t) =$	$1 - R(t)$		$\int_0^t f(x) dx$	$1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(x) dx\right]$	$1 - \exp[-\Lambda(t)]$
$f(t) =$	$-\frac{d}{dt} R(t)$	$\frac{d}{dt} Q(t)$		$\lambda(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(x) dx\right]$	$\frac{d}{dt} \{\exp[-\Lambda(t)]\}$
$\lambda(t) =$	$-\frac{d}{dt} [\ln R(t)]$	$-\frac{d}{dt} \{\ln[1 - Q(t)]\}$	$\frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(x) dx}$		$\frac{d}{dt} \Lambda(t)$
$\Lambda(t) =$	$\ln \frac{R(0)}{R(t)}$	$\ln \frac{1 - Q(0)}{1 - Q(t)}$	$\frac{\int_0^t f(t) dt}{\int_0^t f(x) dx}$	$\int_0^t \lambda(x) dx$	


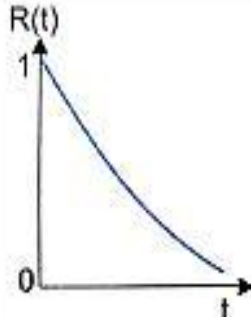

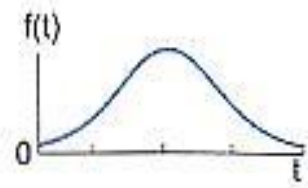
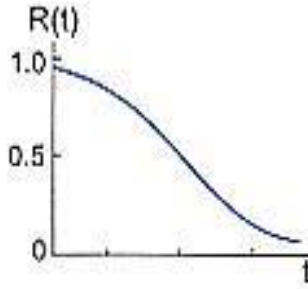
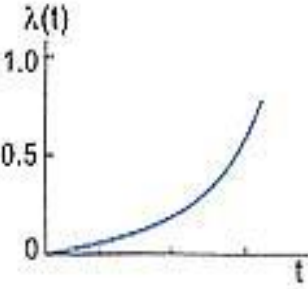
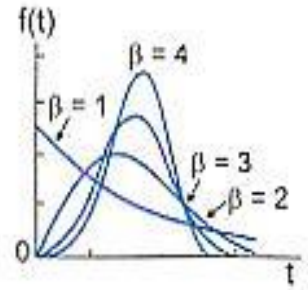
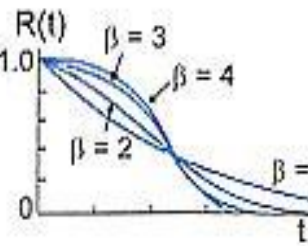
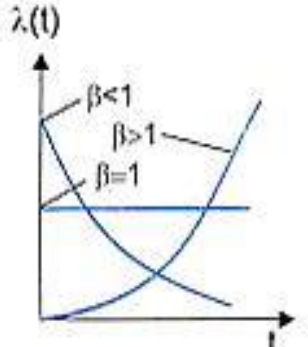


Lp.	Nazwa	Wykres funkcji $\lambda(t)$	Opis
1	2	3	4
1.	Staća funkcja intensywności uszkodzeń		Oddziaływanie przypadkowych czynników wymuszających
2.	Malejąca funkcja intensywności uszkodzeń		Ujawnianie wad powstałych w procesie produkcji doprowadzających do uszkodzeń
3.	Rosnąca funkcja intensywności uszkodzeń		Przejawianie się procesów zużycia i starzenia
4.	Funkcja intensywności typu U (wannowa)		Uniwersalna funkcja intensywności uszkodzeń uwzględniająca wady produkcyjne, procesy zużycia i starzenia oraz wymuszenia przypadkowe

dr inż.





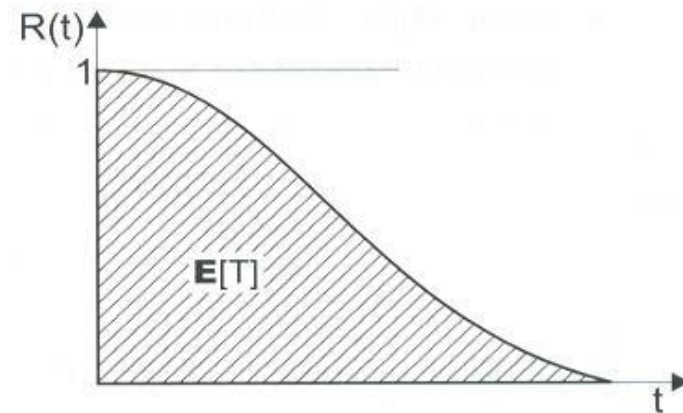
Nazwa rozkładu	Postacie funkcji	Gęstość prawdopodobieństwa	Niezawodność	Intensywność uszkodzeń
Wykładniczy	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$ $R(t) = \exp(-\lambda t)$ $\lambda(t) = \text{const}$ $\Theta = \frac{1}{\lambda} \quad (\Theta = T_0)$			
Normalny (Gaussa)	$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right]$ $R(t) = 1 - \int_0^t f(\tau) d\tau$ $\lambda = \frac{f(t)}{R(t)}$			
Weibulla	$f(t) = \frac{\beta}{\Theta} \left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta\right]$ $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta\right]$ $\lambda = \frac{\beta}{\Theta} \left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1}$			

dr i

Liczbowe wskaźniki niezawodności

1. wartość oczekiwana $E[T]$ - pierwszy moment zwyczajny zmiennej losowej T , którą interpretuje się jako oczekiwany czas pracy do uszkodzenia T_0

$$E[T] = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t (-R'(t)) dt$$



2. wariancja

$$D[T] = \int_0^{\infty} t^2 f(t) dt - (E[T])^2$$

gdzie: $D[T]$ – dyspersja i σ – odchylenie standardowe.

Wariancja określa stopień rozrzutu zmiennej losowej T wokół wartości średniej T_0

Średni czas T poprawnej pracy do chwili wystąpienia uszkodzenia

Jest to wartość oczekiwana zmiennej losowej τ_0 , wyrażona zależnością:

$$T = E[\tau_0] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

Oszacowanie statystyczne tego wskaźnika określa wzór:

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

gdzie: n – liczba badanych obiektów;

t_i – czas, w którym nastąpiło uszkodzenie i -tego obiektu

Średni czas poprawnej pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami

Jest to wartość oczekiwana zmiennej losowej τ_k , określającej czas pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami:

$$T_k = E[\tau_k] = \int_0^{\infty} t \cdot f_k(t) dt$$

Oszacowanie statystyczne tego wskaźnika określa wzór:

$$T_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ki}$$

**gdzie: n – liczba badanych obiektów, z których każdy jest po $(k-1)$ -tej
naprawie**

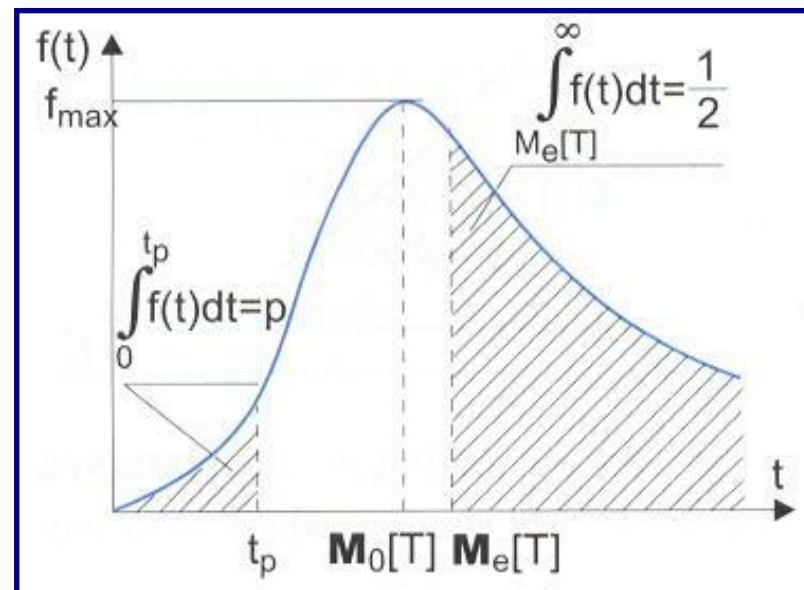
**t_{ki} – czas przebywania i -tego obiektu w stanie zdatności od chwili
zakończenia $(k-1)$ -tej naprawy do wystąpienia k -tego uszkodzenia**

Inne liczbowe wskaźniki niezawodności

Mediana $M_e[T]$ rozkładu zmiennej losowej T to określona wartość t zmiennej losowej która spełnia równanie: $R(t) = \frac{1}{2}$

Kwantyl rzędu p ($0,1$) zmiennej losowej T spełniający równanie: $1 - R(t) = p$

Moda $M_0[T]$ rozkładu zmiennej losowej T to określona wartość której odpowiada największa wartość funkcji gęstości prawdop. czasu pracy obiektu techn.



dr inż. Kamila Kustroń

Trendy zmian wskaźników niezawodności

Analiza zmian wartości wskaźników niezawodnościowych pozwala na określenie stanu technicznego SP

Dokonujemy jej za pomocą badań eksperymentalnych w rzeczywistych systemach eksploatacji statków powietrznych

Wyznaczenie wartości i trendu zmian wskaźników niezawodności opiera się na obliczeniach określonej liczby statków powietrznych z całej populacji, jednak w praktyce do obliczeń przyjmujemy całą populację SP

dr inż. Kamila Kustron

OBIEKTY TECHNICZNE

- *nienaprawialne* – tj. OT, dla których konstruktor nie przewidział możliwości naprawy albo ich naprawa jest zbyt kosztowna;
- *naprawialne* – tj. OT , w których po uszkodzeniu istnieje możliwość dokonania napraw oraz dalszej eksploatacji.

Niezawodność obiektów technicznych nieodnawialnych (nienaprawialnych)

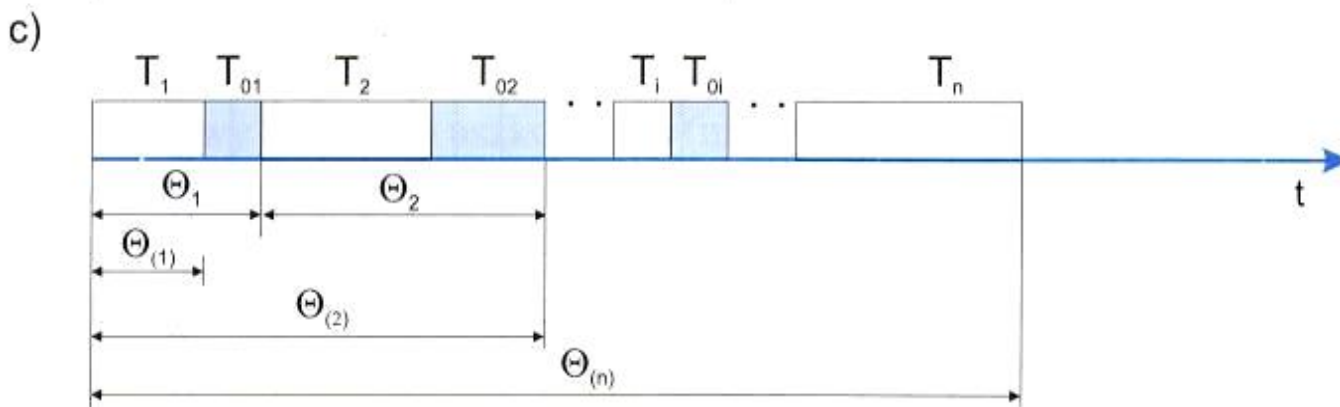
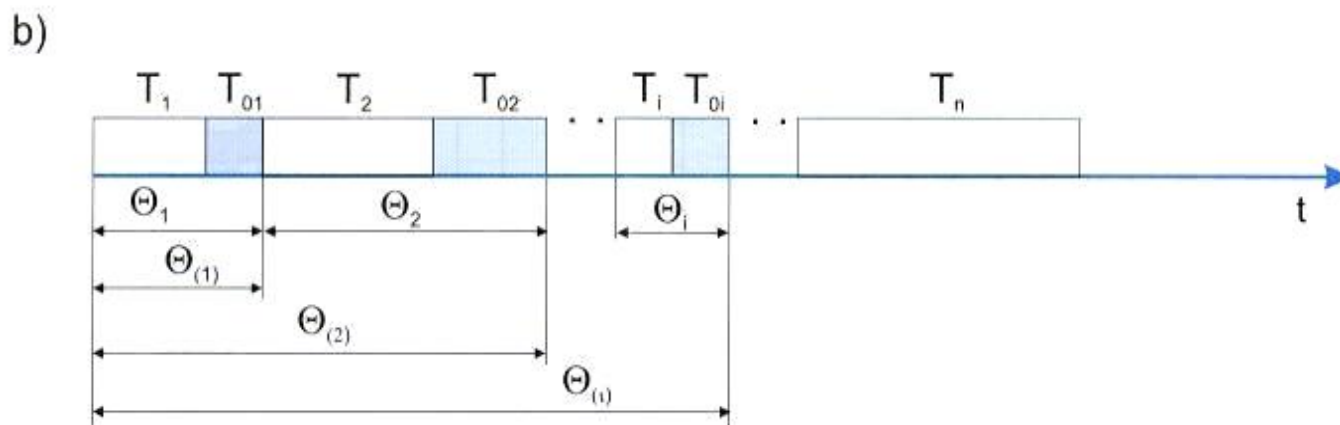
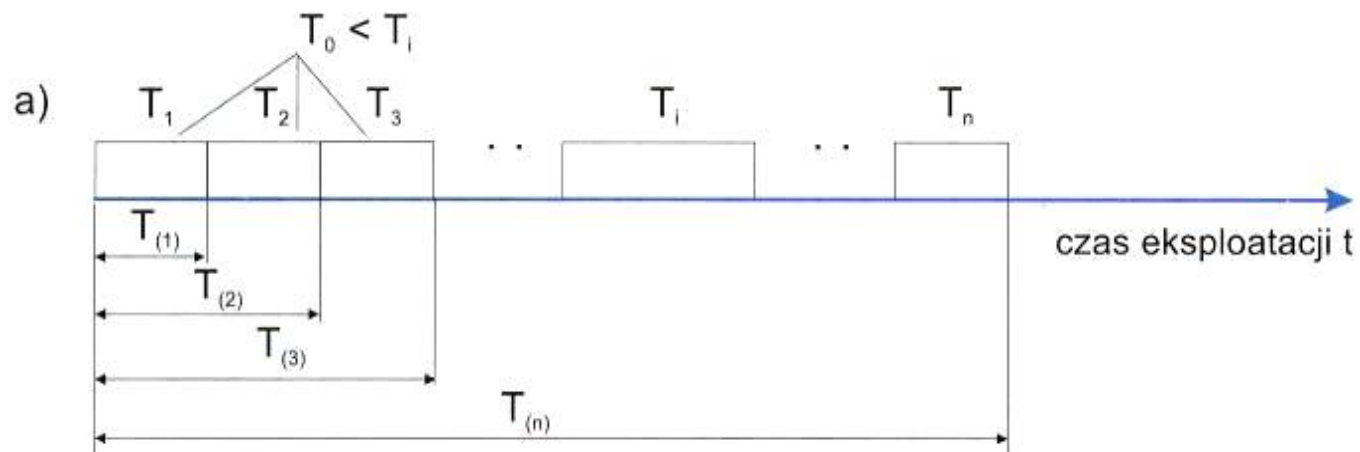
- funkcję niezawodności
- funkcję zawodności (dystribuantę)
- funkcję gęstości prawdopodobieństwa
- funkcję intensywności uszkodzeń
- funkcję wiodącą (skumulowaną intensywność uszkodzeń)

dr inż. Kamila Kustroń

Niezawodność obiektów technicznych odnawialnych (naprawialnych)

- **strumień odnowy**
- **funkcja odnowy**
- **funkcja niezawodności**
- **czas między uszkodzeniami**
- **wskaźnik odnowy**

dr inż. Kamila Kustroń



Odnowa

SP są OT naprawialnymi, w których wymiana uszkodzonego elementu przywraca zdolność urządzeniu do działania.

Przejście OT ze stanu uszkodzenia \bar{S} do stanu zdatności S nazywa się *odnową*

Proces odnowy urządzeń jest również procesem losowym, który charakteryzuje się następującymi wskaźnikami:

➤ prawdopodobieństwo dokonania odnowy w czasie t_o : $F(t_o) = P(T_o < t_o)$

➤ funkcja gęstości prawdopodobieństwa dokonania odnowy: $f(t_o) = F'(t_o)$

➤ intensywność odnowy: $\mu(t_o) = \frac{f(t_o)}{1 - F(t_o)}$

➤ średni czas odnowy: $E(T_o) = \int_0^{\infty} t_o \cdot f(t_o) dt_o$ gdzie T_o – czas odnowy OT

STRUKTURY NIEZAWODNOŚCIOWE

Kryteria oceny niezawodności struktury niezawodnościowej

- **Niezawodnościowa struktura progowa** typu k z n elementów charakteryzuje się tym, że system jest w stanie zdatności jeśli co najmniej k z jego n elementów jest w stanie zdatności. Przykład ilość poprawnie działających nitów w połączeniu nitowanym.
- **Niezawodnościowa struktura szeregową** charakteryzuje się tym, że system jest w stanie zdatności jeżeli wszystkie jego elementy są w stanie zdatności.

Kryteria oceny niezawodności struktury niezawodnościowej c.d.

- **Niezawodnościowa struktura równoległa**
charakteryzuje się tym, że system jest w stanie zdatności, jeżeli co najmniej jeden z jego elementów jest w stanie zdatności
- **Niezawodnościowa struktura mieszana**
oznacza różne kombinacje struktur szeregowych i równoległych (najlepiej opisująca SP)

Obliczanie niezawodności układów

SP składa się z dużej liczby współpracujących ze sobą elementów, zespołów, podzespołów, agregatów. Niezawodność SP zależy zarówno od parametrów zawodnościowych poszczególnych jej elementów, jak również od wzajemnego powiązania tych elementów w układy funkcjonalne

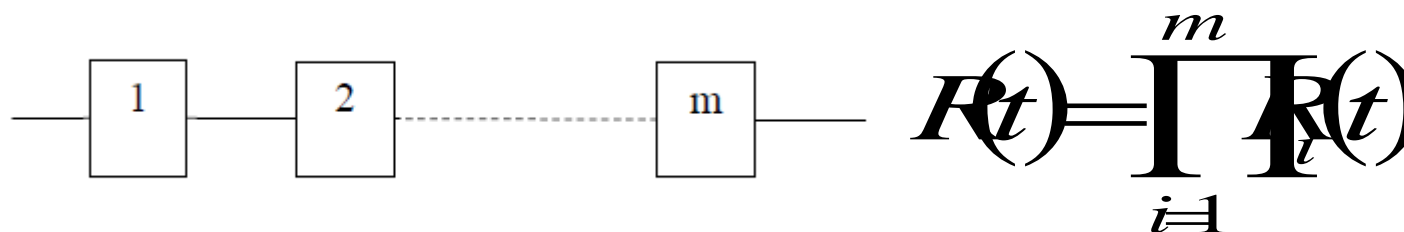
Badania niezawodności układów złożonych można przeprowadzić przez za stosowanie metod opartych na teorii stochastycznych procesów Markowa, metod Monte Carlo lub opierając się na zasadach rachunku prawdopodobieństwa, przy czym metody oparte na teorii procesów Markowa mogą być stosowane do badania układów o stosunkowo niewielkiej liczbie możliwych stanów pracy

Parametry niezawodnościowe poszczególnych elementów układu określa się metodami statystycznymi

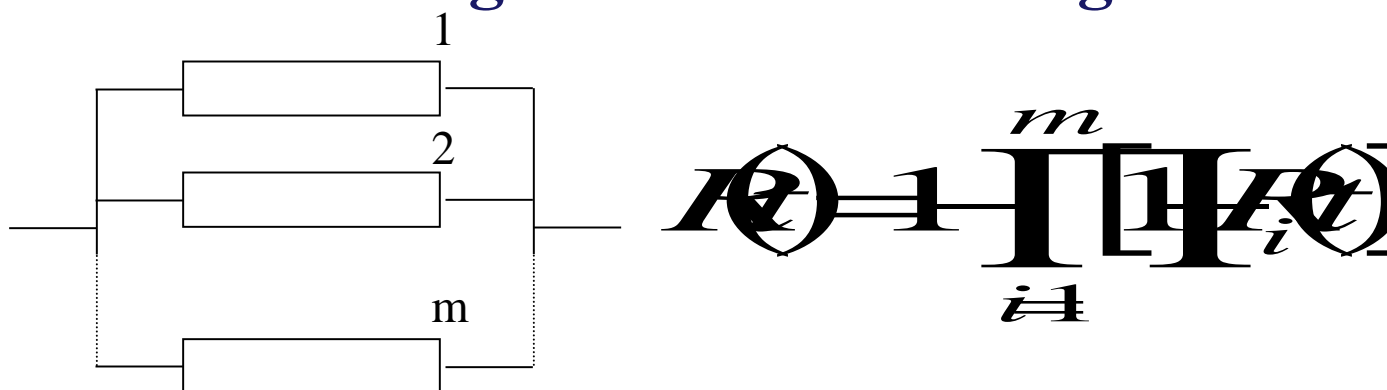
Elementy stanowiące strukturę konstrukcyjną SP mogą tworzyć różne struktury niezawodnościowe, a mianowicie: szeregową, równoległą lub złożoną

Struktura niezawodnościowa SP

Struktura szeregowa obiektu złożonego



Struktura równoległa obiektu złożonego



dr inż. Kamila Kustron



KSZTAŁTOWANIE NIEZAWODNOŚCI

dr inż. Kamila Kustron



Istnieje wiele sposobów oddziaływania na niezawodność systemów.

Ogólnie daje się wyróżnić:

- oddziaływanie na elementy
- oddziaływanie na strukturę niezawodnościową
- oddziaływanie na elementy i na strukturę niezawodnościową łącznie

Tworzenie drzew zdarzeń struktur niezawodnościowych

Struktura szeregową

Rozwiązania dla szczególnych przypadków

$$R_i(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda_i(t) dt\right)$$

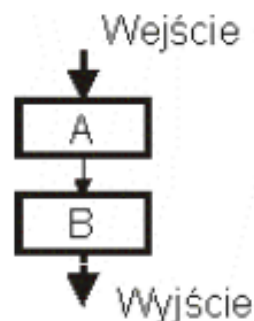
$$R(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \left(\int_0^t \lambda_i(t) dt\right)\right)$$

Gdy: $\lambda_1(t) = \lambda_2(t) = \dots = \lambda_n(t) = \lambda(t)$

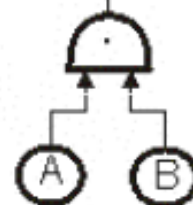
$$R(t) = \exp\left(-n \int_0^t \lambda_i(t) dt\right)$$

Gdy: $\lambda_i(t) = \lambda_i$ dla $i=1..n$

Gdy: $\lambda_i(t) = \lambda$ dla $i=1..n$



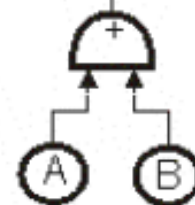
System zdatny



$$R = R_A \cdot R_B$$

$$R = \prod R_i$$

System niezdatny



$$Q = Q_A \cdot Q_B$$

$$Q = \prod Q_i$$

$$Q = 1 - \prod R_i$$

$$R(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i\right)$$

$$R(t) = \exp(-tn\lambda)$$

Tworzenie drzew zdarzeń struktur niezawodnościowych

Struktura równoległa

Rozwiązania dla szczególnych przypadków

$$R_i(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda_i(t) dt\right)$$

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda_i(t) dt\right)\right)$$

Gdy: $\lambda_1(t) = \lambda_2(t) = \dots = \lambda_n(t) = \lambda(t)$

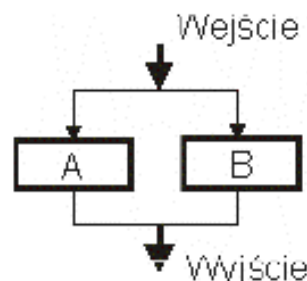
$$R(t) = 1 - \left(1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right)\right)^n$$

Gdy: $\lambda_i(t) = \lambda_i$ dla $i=1..n$

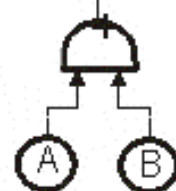
$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \exp(-t\lambda_i))$$

Gdy: $\lambda_i(t) = \lambda$ dla $i=1..n$

$$R(t) = 1 - (1 - \exp(-t\lambda))^n$$

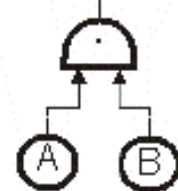


System z datny

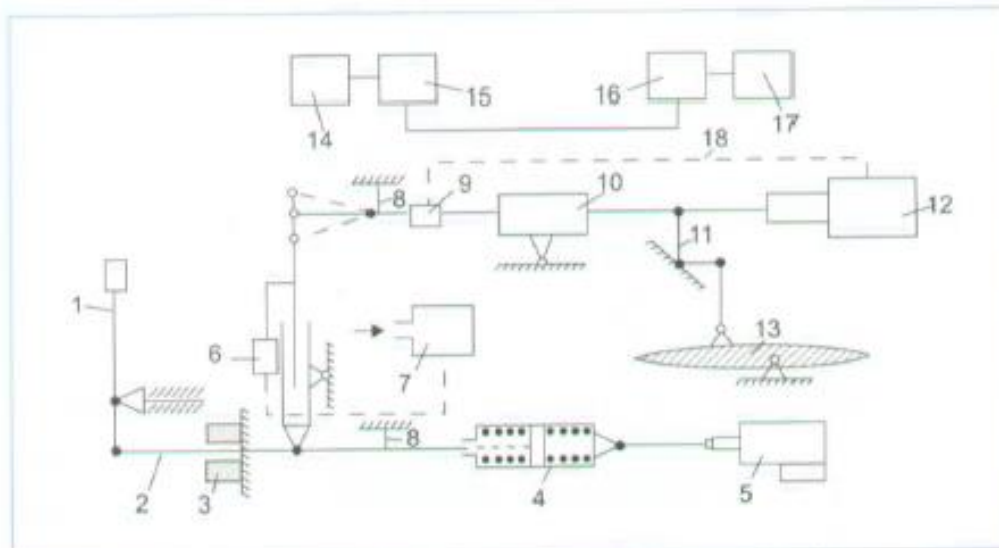


$$R = 1 - \prod (1 - R_i)$$

System niezdatny

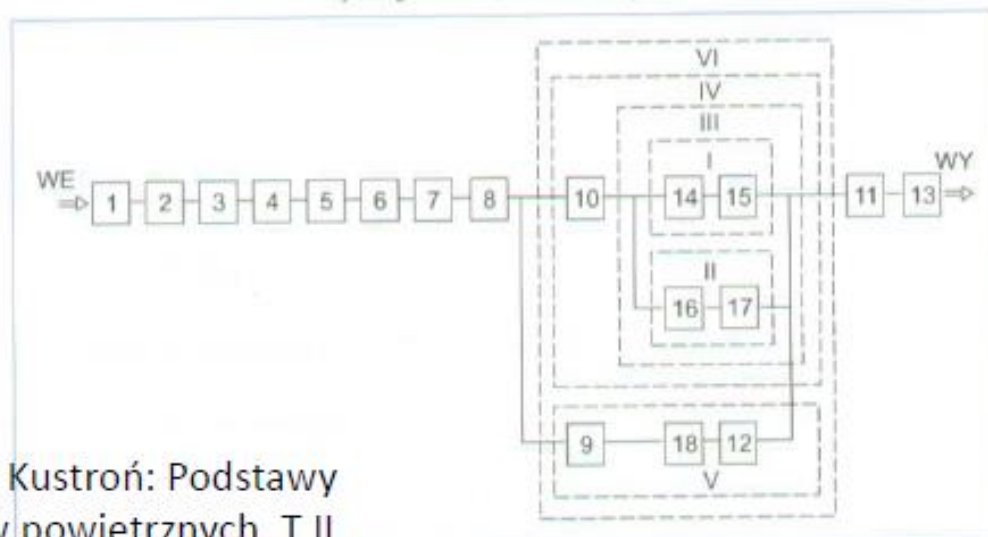


$$Q = 1 - \prod (1 - Q_i)$$

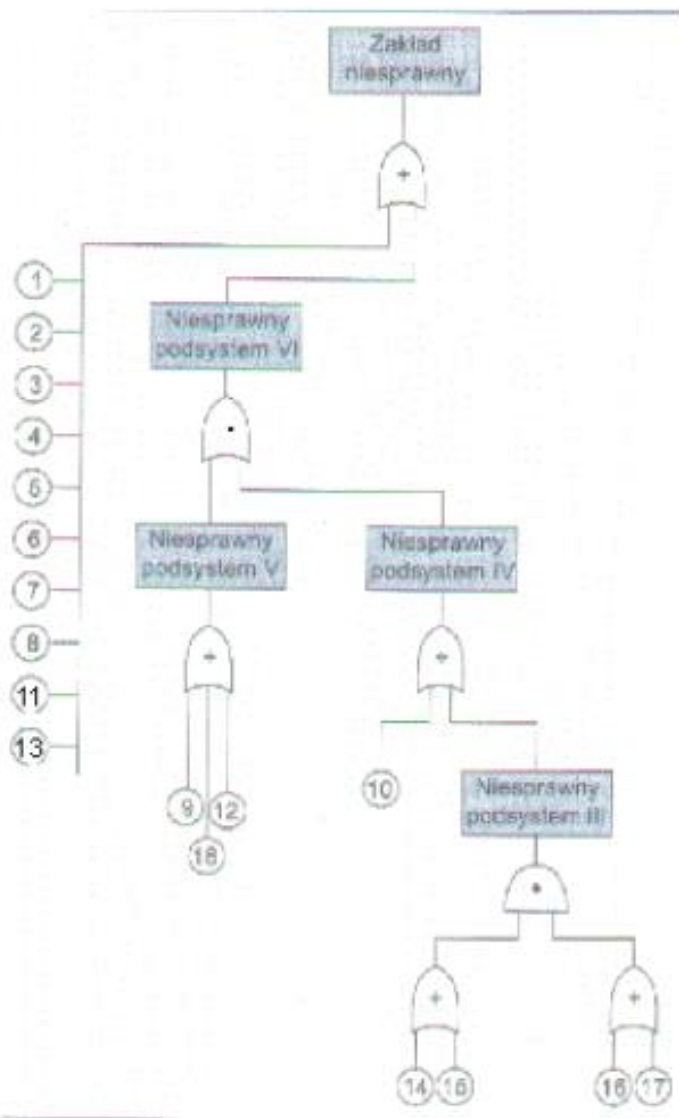


Schemat układu sterowania stabilizatorem samolotu.

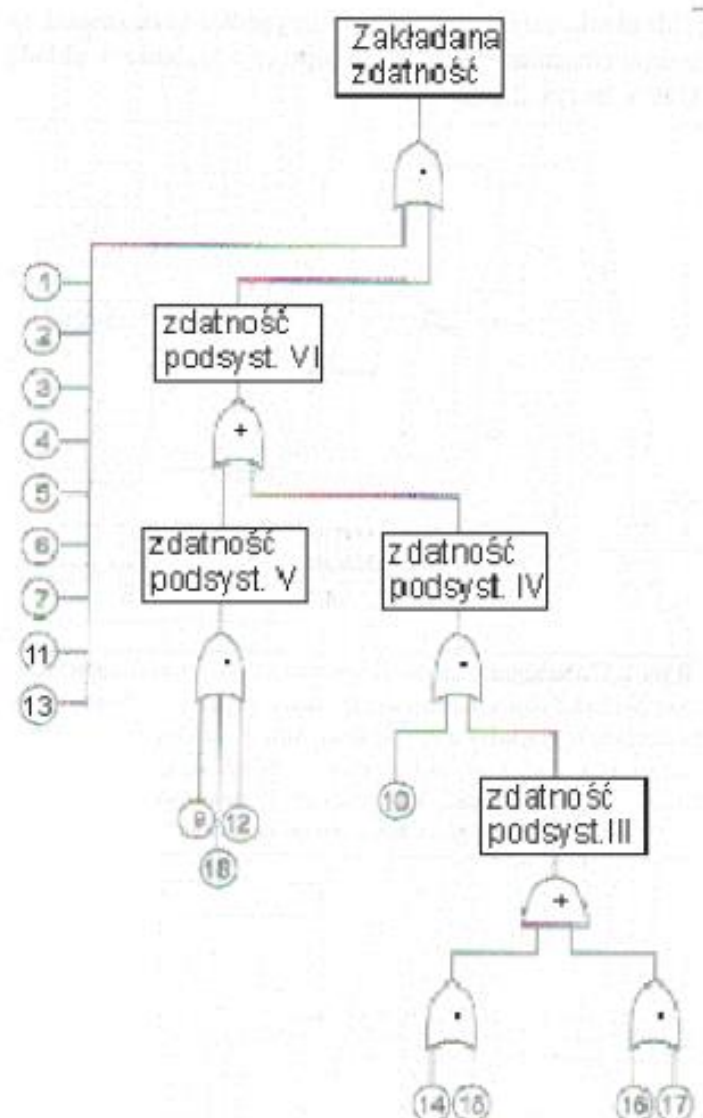
1 – rączka sterowania; 2 – cięgła; 3 – węzeł hermetyzacji; 4 – mechanizm regulacji siły; 5 – mechanizm efektu trymerowego; 6 – automat sterowania; 7 – blok sterowania; 8 – system dźwigni; 9 – elektryczny przełącznik położenia stabilizatora; 10 – wzmacniacz hydrauliczny; 11 – dźwignia kątowa; 12 – awaryjny napęd stabilizatora; 13 – stabilizator; 14 – pompa hydrauliczna; 15 – armatura układu hydraulicznego; 16 – przewody hydrauliczne; 17 – pompa hydrauliczna wysokiego ciśnienia; 18 – sieć elektryczna



Źródło: Lewitowicz, Kustroń: Podstawy eksploatacji statków powietrznych T II



Źródło: Lewitowicz, Kustron: Podstawy eksploatacji statków powietrznych T II



Drzewo niezawności dla systemu sterowania stabilizatorem samolotu

Nr elementu (wg rys. 2.27)	Nazwa elementu	λ	
1	Rączka sterowania	0,05	[%]
2	Ciegła	0,052	
3	Wzrost hermetyzacji	0,05	
4	Mechanizm regulacji siły	0,04	
5	Mechanizm efektu trymerowego	0,24	
6	Automat sterowania	0,26	
7	Blok sterowania	0,06	
8	System dźwigni	0,048	
9	Elektryczny przełącznik położenia stabilizatora	0,5	
10	Hydrowzmacniacz	2,5	
11	Dźwignia kątowna	0,23	
12	Awaryjny napęd stabilizatora	0,4	
13	Stabilizator	0,27	
14	Pompa hydrauliczna	5,0	
15	Armatura układu hydraulicznego	5,0	
16	Przewody hydrauliczne	5,0	
17	Pompa hydrauliczna wysokiego ciśnienia	5,0	
18	Sieć elektryczna	0,5	

$$R_I(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) = \exp(-t \cdot (0,05 + 0,05)) = e^{-0,1t}$$

$$R_{II}(t) = \exp(-t \cdot (0,05 + 0,05)) = e^{-0,1t}$$

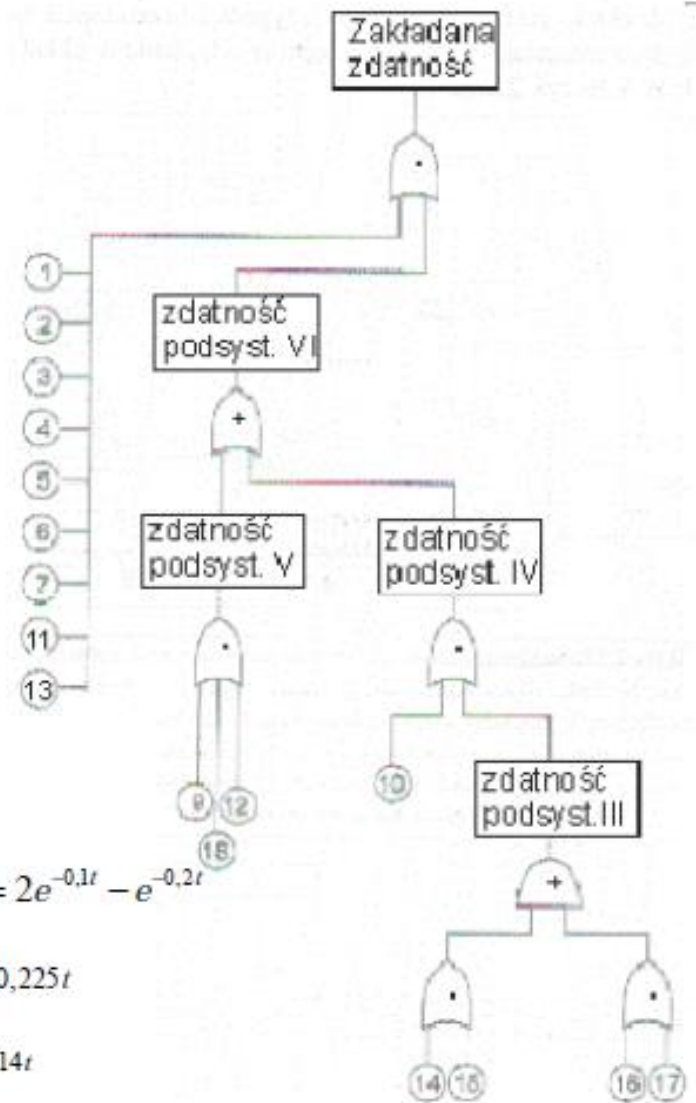
$$R_{III}(t) = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i) = 1 - (1 - R_I)(1 - R_{II}) = e^{-0,1t} + e^{-0,1t} - (e^{-0,1t})^2 = 2e^{-0,1t} - e^{-0,2t}$$

$$R_{IV}(t) = R_{10} R_{III} = (2e^{-0,1t} - e^{-0,2t}) e^{-0,025t} = 2e^{-0,125t} - e^{-0,225t}$$

$$R_V(t) = \exp(-t(\lambda_9 + \lambda_{12} + \lambda_{18})) = e^{-t(0,005 + 0,004 + 0,005)} = e^{-0,014t}$$

$$R_{VI}(t) = 1 - (1 - R_{IV})(1 - R_V) = e^{-0,014t} + (2e^{-0,125t} - e^{-0,225t})(1 - e^{-0,014t})$$

$$R(t) = e^{-0,02652t} + 2e^{-0,13752t} - e^{-0,23752t} - 2e^{-0,15152t} + e^{-0,25152t} = \sum a e^{-bt}$$



Optymalizacja struktur niezawodnościowych →

→ kształtowanie poprzez zastosowanie metod **optymalizacyjnych, nadmiarowych i rezerwowania** z uwzględnieniem problemu **granicznych** funkcji niezawodnościowych i problemów **ekonomicznych**

realizacja **Nadmiarowa** (redundacyjna) struktura niezawodnościowa systemu to każda taka struktura niezawodnościowa, w której istnieją co najmniej dwie różne realizacje wektora stanów niezawodnościowych elementów, przy których system jest zdatny. Szczególną postacią nadmiarowości jest **rezerwowanie**, czyli **zwielokrotnianie** liczby elementów lub funkcji

dr inż. Kamila Kustroń

**Nadmiarowa struktura
niezawodnościowa statku
powietrznego**

Rodzaje nadmiarów:

- strukturalny
- funkcjonalny
- informacyjny
- czasowy
- wytrzymałościowy
- parametryczny

dr inż. Kamila Kustron

PRACA DOMOWA

1. Wymień funkcyjne wskaźniki niezawodności
2. Wymień znane Ci rozkłady zmiennej losowej T stosowane w analizie niezawodnościowej
3. Wymień rodzaje stosowanych nadmiarów i podaj przykłady
4. Niezawodności struktury konstrukcyjnej dla i ($i=1 \dots 20$) elementów w połączeniach szeregowych i n ($n=1 \dots 20$)- równoległych
5. Zaznacz na wykresie (punkt 4) niezawodność układu składającego się z I (I. liter imienia) – elementów pozostających w relacji szeregowej i N (I. liter nazwiska) – w relacji równoległej

Funkcyjne wskaźniki niezawodności

- ❑ funkcję zawodności:
(dystribuanta)

$$Q(t) = P(T \leq t)$$

- ❑ funkcję niezawodności:

$$R(t) = 1 - Q(t) = P(T > t)$$

- ❑ funkcję gęstości
prawdopodobieństwa:

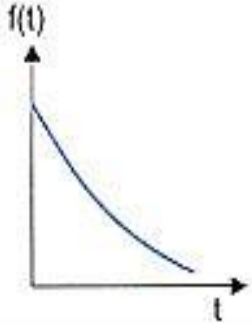
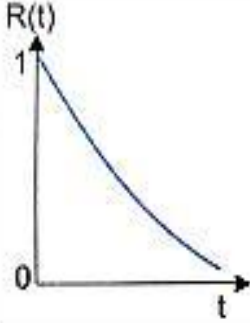
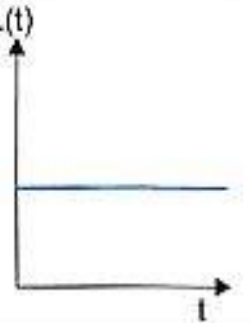
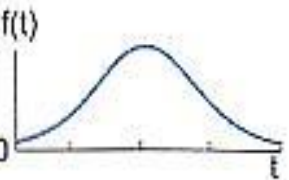
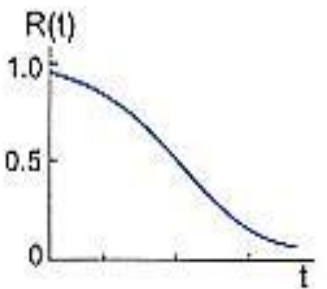
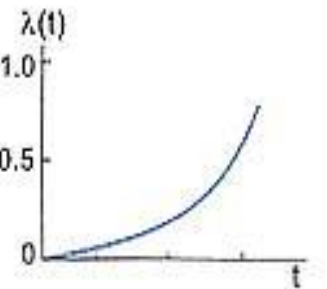
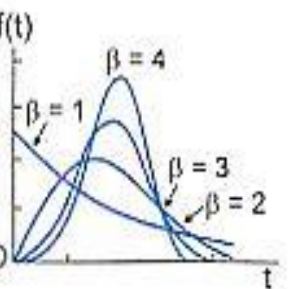
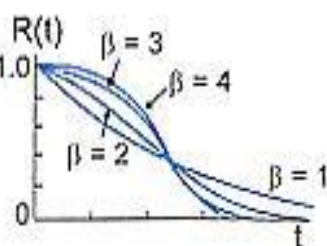
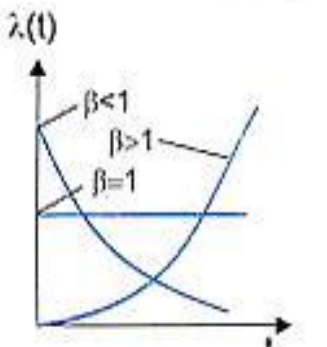
$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt}$$

- ❑ funkcję intensywności:
uszkodzeń

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

- ❑ funkcję wiodącą:
(skumulowaną
intensywność
uszkodzeń)

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(\tau) d\tau$$

Nazwa rozkładu	Postacie funkcji	Gęstość prawdopodobieństwa	Niezawodność	Intensywność uszkodzeń
Wykładniczy	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$ $R(t) = \exp(-\lambda t)$ $\lambda(t) = \text{const}$ $\Theta = \frac{1}{\lambda} \quad (\Theta = T_0)$			
Normalny (Gaussa)	$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right]$ $R(t) = 1 - \int_0^t f(\tau) d\tau$ $\lambda = \frac{f(t)}{R(t)}$			
Weibulla	$f(t) = \frac{\beta}{\Theta} \left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta\right]$ $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\Theta}\right)^\beta\right]$ $\lambda = \frac{\beta}{\Theta} \left(\frac{t}{\Theta}\right)^{\beta-1}$			



NK315 EKSPLOATACJA STATKÓW LATAJĄCYCH

1. Wykład wprowadzający w interdyscyplinarną tematykę eksploatacji statków latających; HARMONOGRAM ZAJĘĆ, WARUNKI ZALICZENIA; bibliografia
2. Statek latający jako przedmiot eksploatacji, system eksploatacji, uwarunkowania prawne i normatywne eksploatacji, organizacje lotnicze
3. Procesy degradacyjne i destrukcyjne. Zużycie zmęczeniowe i korozja
4. Zużycie tribologiczne, uszkodzenia kompozytów. Wprowadzenie do problematyki zdolności do lotu
5. Własności i właściwości eksploatacyjne: niezawodność, gotowość, odpowiedniość, bezpieczeństwo, trwałość, żywotność, podatność eksploatacyjna.
Obliczanie prostych charakterystyk eksploatacyjnych na podstawie danych z eksploatacji
6. **Diagnostyka, badanie uszkodzeń, wypadków lotniczych i prototypów**
7. Model utrzymania SP w ciągłej zdolności do lotu. CAME
8. Program obsługi technicznej, program niezawodności
9. Czynniki ludzkie w lotnictwie
10. Bezpieczeństwo lotów. SMS
11. Podsumowanie treści wykładów z ukierunkowaniem na kolokwium
12. Kolokwium
13. Omówienie wyników kolokwium
14. Kolokwium poprawkowe
15. Podsumowanie przedmiotu

dr inż. Kamila Kustroń

