



POLITECHNIKA WARSZAWSKA

WYDZIAŁ MECHANICZNY ENERGETYKI I LOTNICTWA



ZARZĄDZANIE EKSPLOATACJĄ OBIEKTÓW LATAJĄCYCH

WYKŁAD

31 PAŹDZIERNIKA 2014

DR INŻ. KAMILA KUSTROŃ

SYSTEM
AVIATION



AVIATION SYSTEM



CIVIL SYSTEM, MILITARY SYSTEM

STRUCTURES OF SYSTEMS

SAFETY, RELIABILITY

QUALITY

MANAGEMENT

SAFETY MANAGEMENT, ANNEX 19, ICAO, SARPs,

SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

RISK ASSESSMENT, RISK MITIGATION

ZAPOBIEGANIE USZKODZENIOM

USZKODZENIA

RÓŻNE MATERIAŁY I ICH POŁĄCZENIA

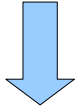
MANUFACTURING DAMAGES

SERVICE-INDUCED DAMAGES

THE MAIN GOAL OF STRUCTURAL DESIGNER IS TO DESIGN COMPONENTS THAT EFFECTIVELY PERFORM A SPECIFIED FUNCTION FOR A GIVEN PERIOD OF SERVICE. ESSENTIAL TO UNDERSTAND AND ANTICIPATE ALL POSSIBLE FAILURE MODES THAT COULD OCCUR IN SERVICE AND PROVIDE STRUCTURE WITH ABILITY TO RESIST THESE FAILURE MECHANISMS



FAILURES MODES



SYSTEM: STRUCTURE OF AIRCRAFT
SYSTEM: OPERATION
SYSTEM: MAINTENANCE
MAINTENANCE, AIRWORTHINESS
TO MANAGE AIRWORTHINESS
CONTINUOUS AIRWORTHINESS MANAGEMENT



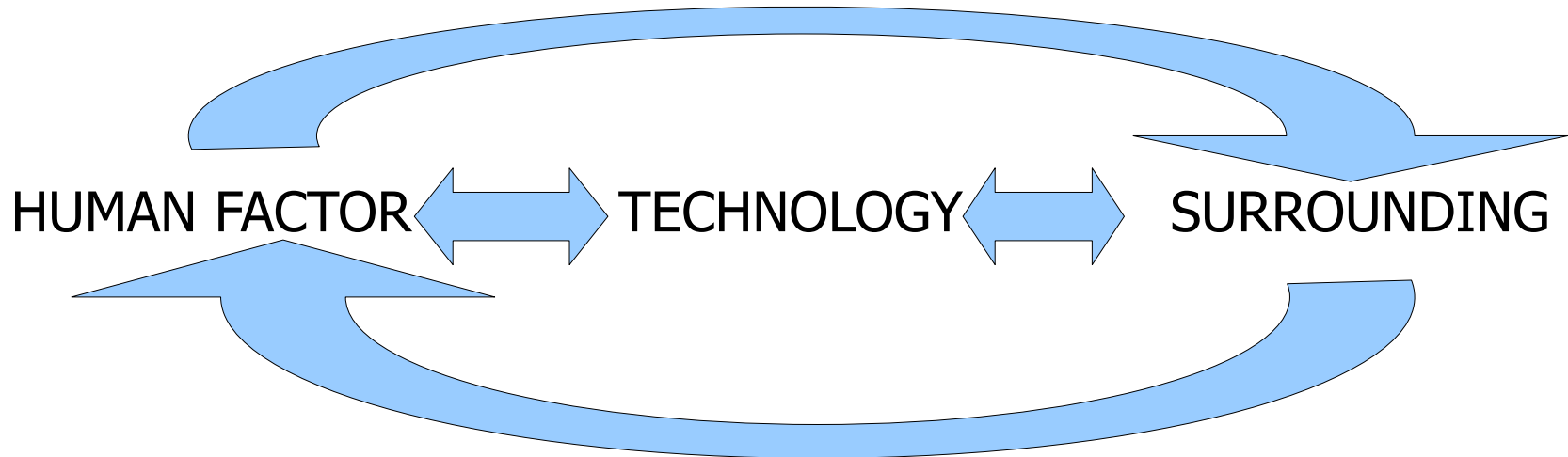
CAME, ????, REGULATIONS

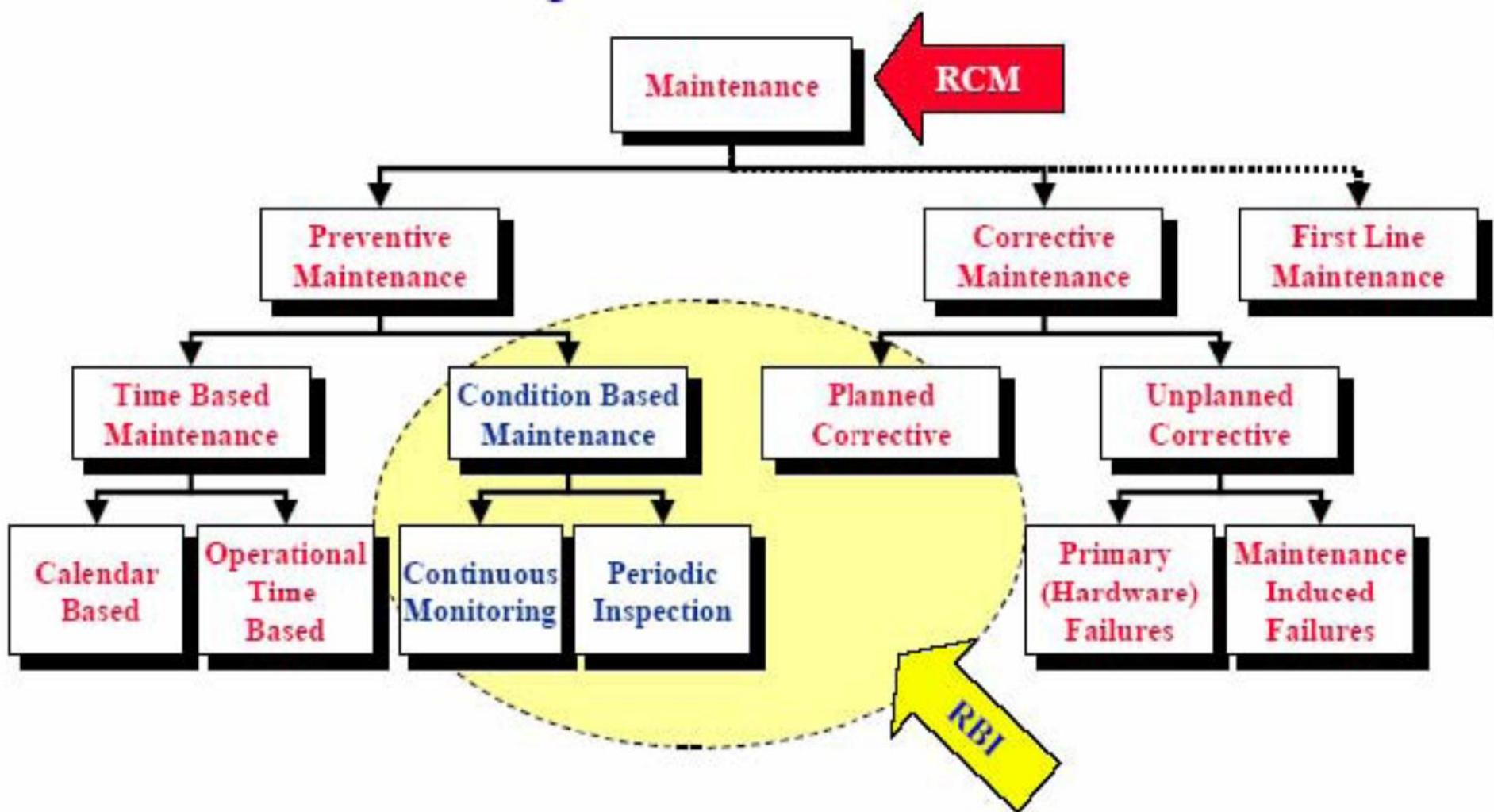


NADZÓR LOTNICZY, PRAWO LOTNICZE, OPERATION&MAINTENANCE

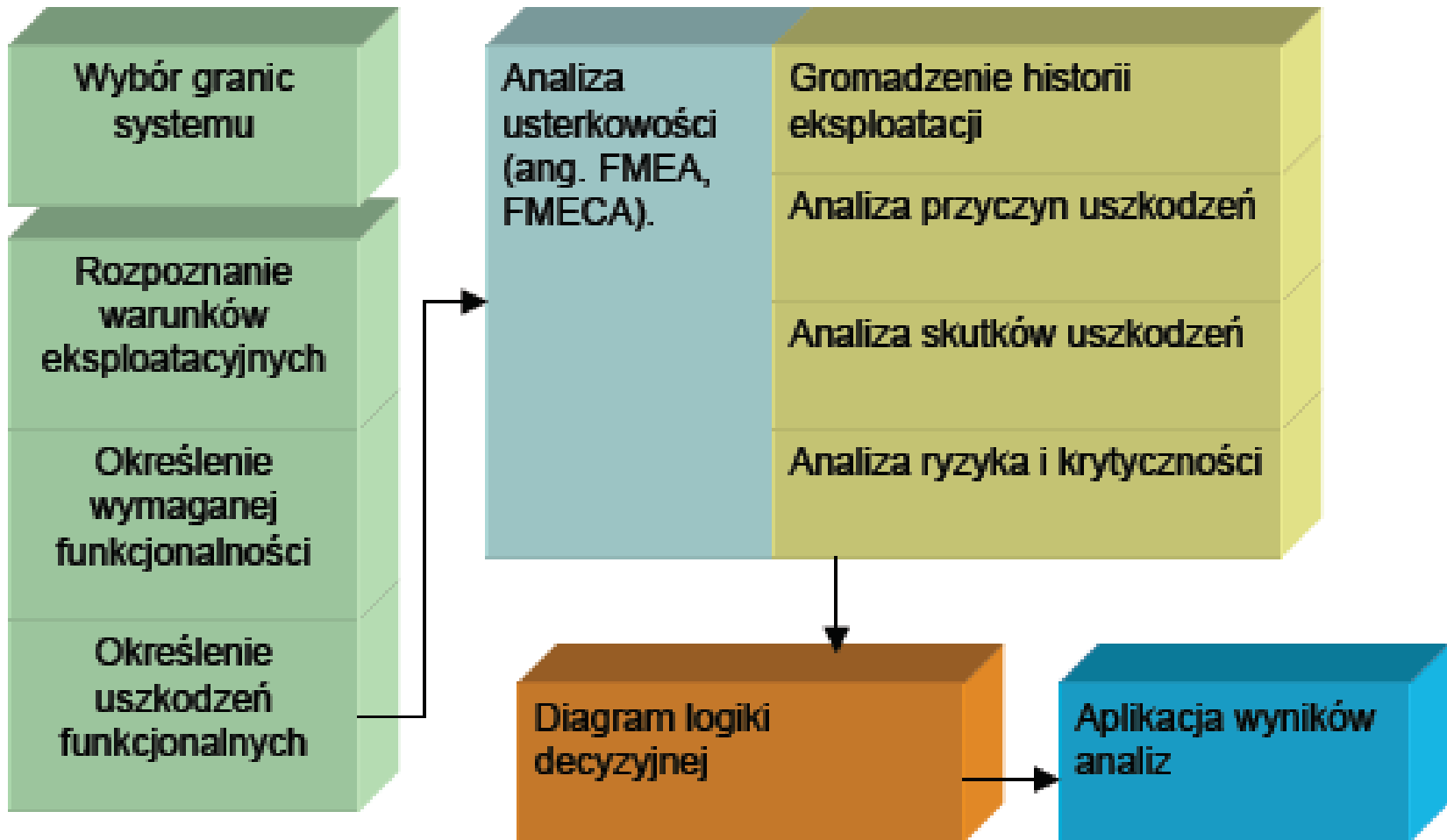
LIFE CYCLE
LIFE CYCLE COSTS
15-20% - MAINTENANCE COSTS

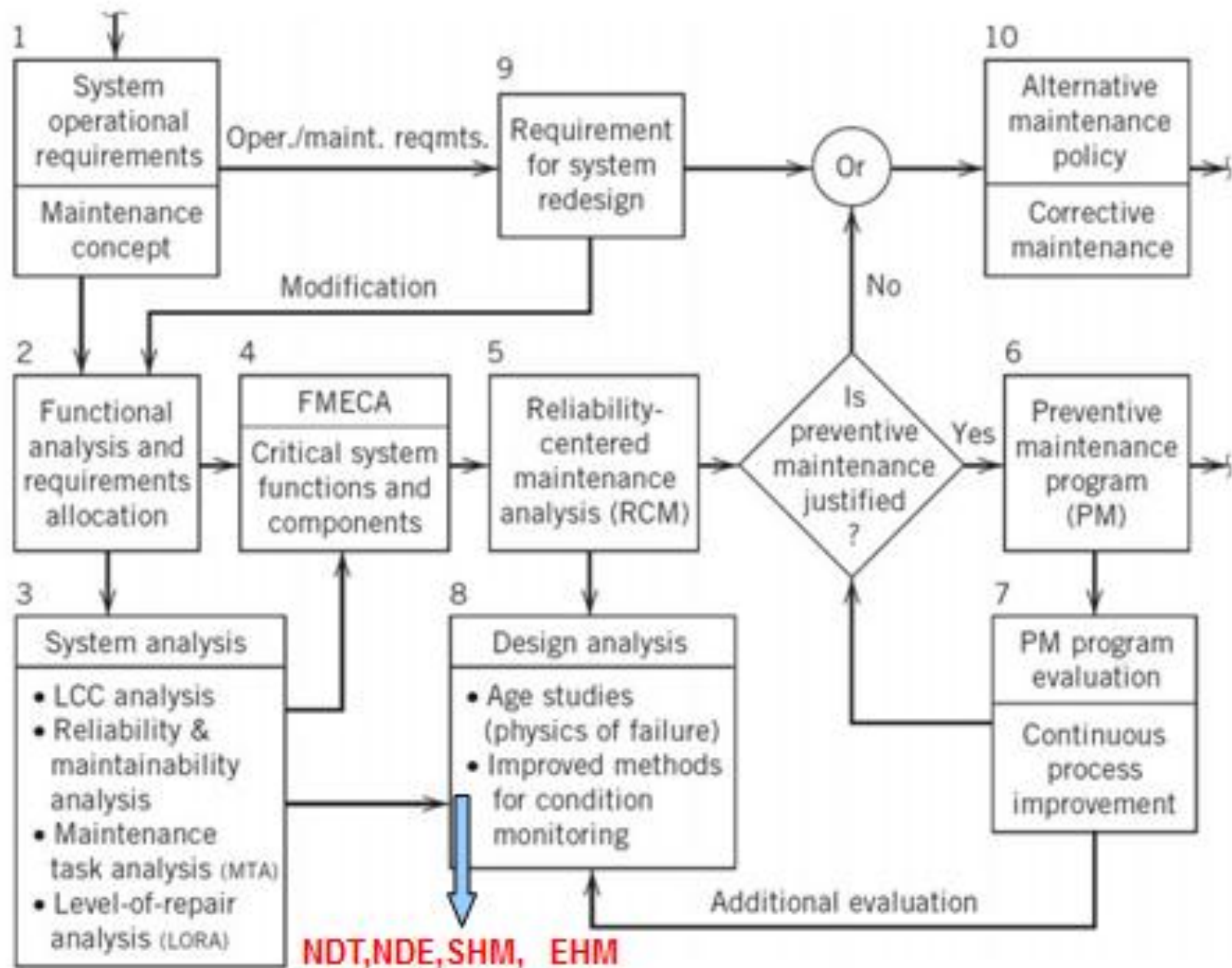
SYSTEM:
HUMAN FACTOR (HF)
TECHNOLOGY
SURROUNDING/ENVIRONMENT





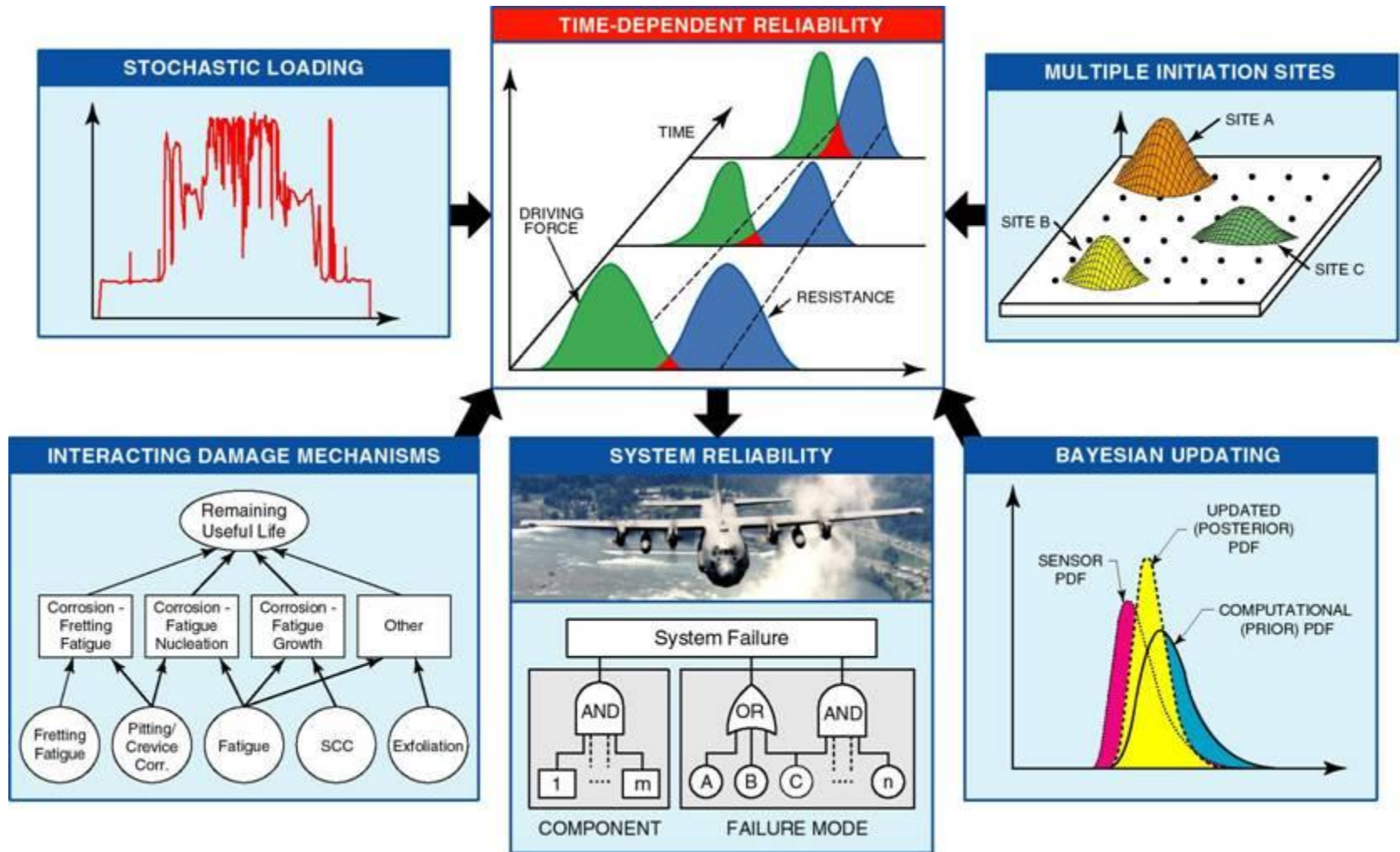
RCM





Examples of the relationships between the selected reliability and maintainability tools (Blanchard, 2008)

Forecasting Future Damage: Prognosis



Physics Based Models, Extensive Data Sets, Sophisticated Sensors, Algorithms, Architecture...time, investment...LTG

Funkcyjne wskaźniki niezawodności

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

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

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

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

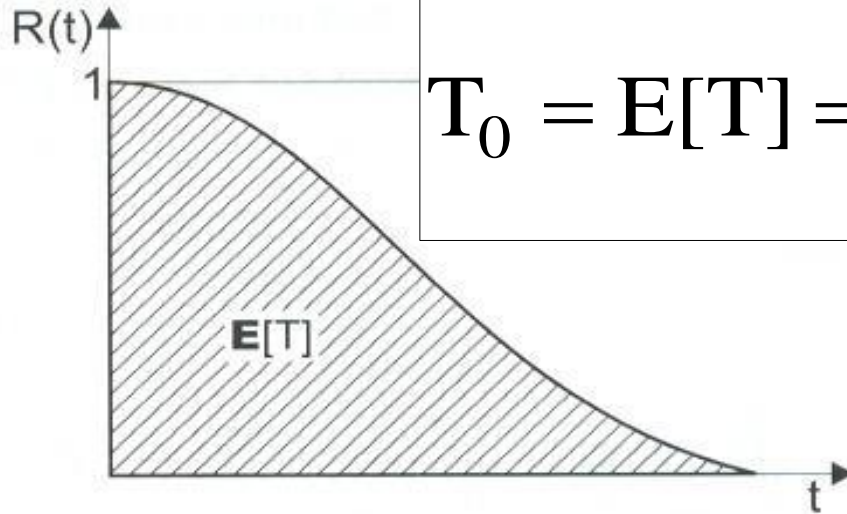
5. $\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(\tau) d\tau$

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

Lp.	Nazwa	Wykres funkcji $\lambda(t)$	Opis
1	2	3	4
1.	Stała 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

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




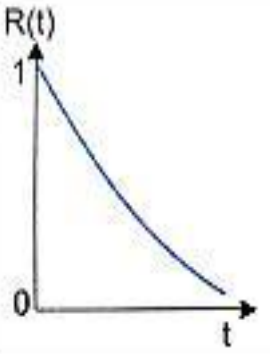

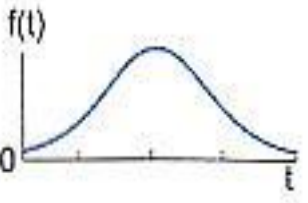
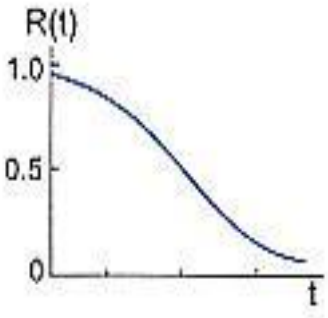
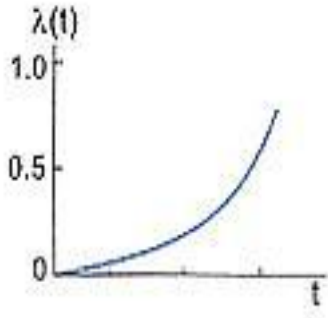
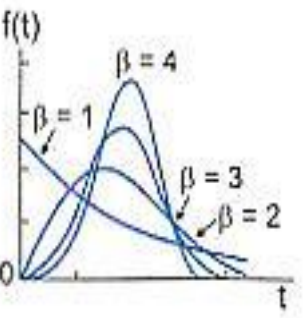
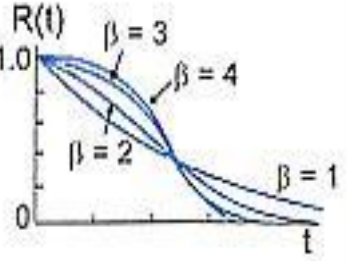
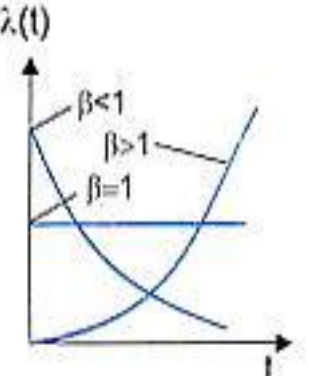
$$T_0 = E[T] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

2. wariancja

$$\text{Var}[T] = D^2[T] = \sigma^2$$

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

Wariancja określa stopień rozrzutu zmiennej losowej T wokół wartości średniej T_0 .

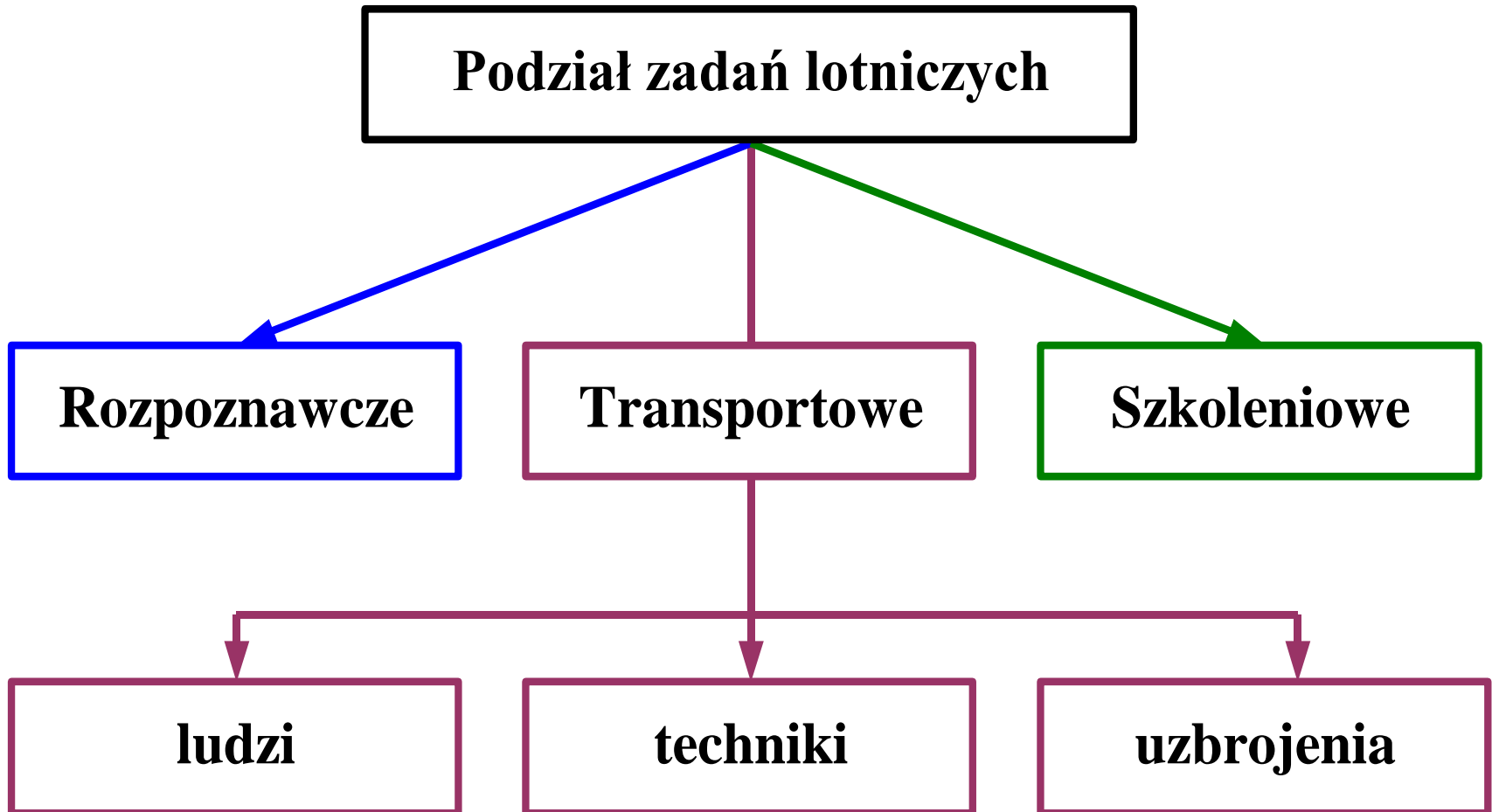
Nazwa rozkładu	Postacie funkcji	Gęstość prawdopodobieństwa	Niezawodność	Intensywność uszkodzeń
Wykładniczy	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$ $R(t) = \exp(-\lambda t)$ $\lambda(t) = \text{const}$ $\Theta = \frac{1}{\lambda} \quad (\Theta = T_0)$			
Normalny (Gaussa)	$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}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

PRZYCZYNY I WYBRANE MODELE USZKODZEŃ STATKÓW POWIETRZNYCH

- Rozważania wstępne
- Czynniki wymuszające uszkodzenia SP
- Podstawowe matematyczne modele rozkładu trwałości elementów statków powietrznych

Rozważania wstępne

Zadania lotnicze



Rozważania wstępne

Utrzymywanie w stanie ciągłej zdatności do lotu:
Obsługiwanie SP

Klasyfikacja obsługiwanie

```
graph TD; A[Klasyfikacja obsługiwanie] --- B[Zaopatrywanie]; A --- C[Kontrola stanu]; A --- D[Profilaktyka]; A --- E[Naprawa];
```

Zaopatrywanie

paliwo, gaz,
elektryczność,
ciecze robocze,
uzbrojenie

Kontrola stanu

przedlotowa,
polotowa,
startowa,
inspekcyjna

Profilaktyka

wg nalotu,
wg czasu
kalendarzo-
wego

Naprawa

planowa,
nie planowa

Czynniki wymuszające uszkodzenia SP

Podstawowe pojęcia

Uszkodzenia SP są to zmiany fizykochemiczne zachodzące w zespołach i podzespołach SP, które uniemożliwiają wykonanie zadania lotniczego

Czynniki wymuszającymi nazywa się oddziaływania wewnętrzne lub zewnętrzne inicjujące uszkodzenia SP

Czynniki wymuszające wewnętrzne są to czynniki uwarunkowane funkcjonowaniem SP (wibracje, przeciążenia, udary)

Czynniki wymuszające zewnętrzne są to czynniki uwarunkowane oddziaływaniem otoczenia (np. klimat, przyroda)

Czynniki wymuszające uszkodzenia SP

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Czynniki wymuszające warunkowe obsługiwane SP

Czynniki wymuszające uszkodzenia SP

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Czynniki wymuszające warunkowe obsługiwane SP

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Wysoka temperatura + duża wilgotność

- zacięcia par kinematycznych,
- pogorszenie właściwości radioelektroniki,
- zmniejszenie gęstości smarów,
- zmniejszenie lepkości smarów,
- pogorszenie właściwości elementów uszczelniających,
- aktywizacja procesów korozji,
- występowanie obciążeń cieplnych,
- utrata elastyczności powłok,
- samowyladowanie akumulatora.

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Niska temperatura + duża wilgotność

- zbliżenie warunków pracy silnika do górnej granicy stateczności,
- utrata właściwości materiałów uszczelniających,
- utrudniony zapłon materiałów pirotechnicznych,
- zmniejszenie prędkości początkowej pocisku,
- obniżenie efektywności urządzeń katapultowych,
- zmniejszenie prędkości spalania paliw,
- zmiany właściwości mechanicznych materiałów i stopów,
- zaklinowanie par kinematycznych,
- zmiana charakterystyk urządzeń radiowych i elektrycznych.

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Aktywność słoneczna i nasłonecznienie

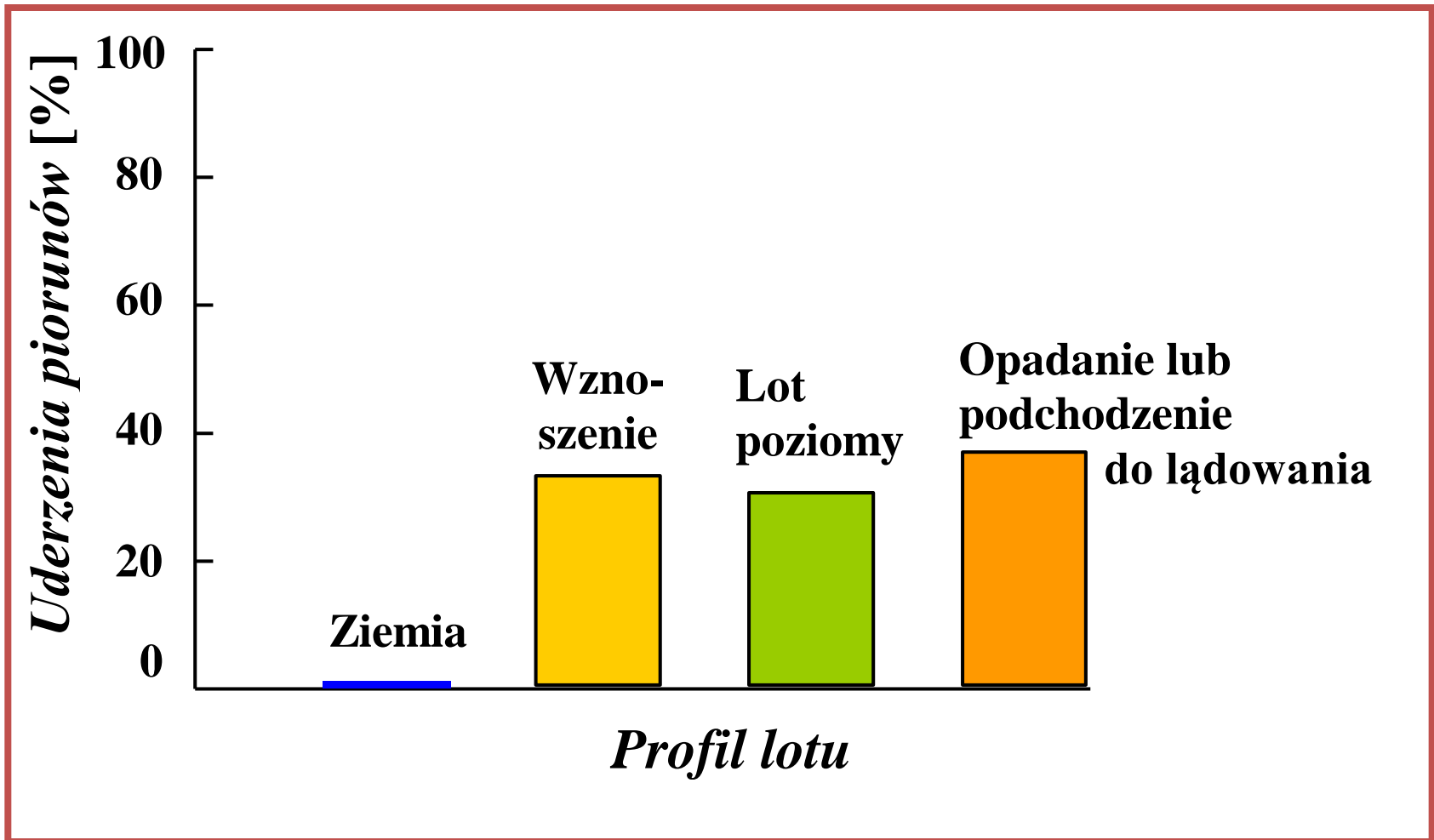
- burza magnetyczna i zakłócenia jonosfery powodujące zakłócenia łączności radiowej,
- burza magnetyczna powodująca zakłócenia pracy busoli,
- zorze polarne, mogące wywołać u pilota błędną orientację w położeniu SP w przestrzeni,
- nasłonecznienie, sprzyjające niszczeniu pokrycia SP,
- w wyniku promieni słonecznych powstały ozon niszczy wyroby gumowe i pokrycie lakiernicze.

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Elektryczność atmosferyczna i statyczna

- Statek powietrzny może uzyskać znaczny ładunek elektryczny, ze względu na oddziaływanie zjonizowanych produktów paliwa, tarcie cząstek piasku i suchego śniegu. Ładunek ten może ściągać od 500 000 do 1 000 000 V.
- Wejście SP w obszar burzowy. Burzowe wyładowania między obłokami lub obłokiem i ziemią wynoszą setki milionów Volt. Natężenie prądu wyładowań osiąga od 50 000 do 100 000 A. Statek powietrzny w obszarze wyładowań może zostać uszkodzony lub zniszczony.
- Uderzenie pioruna na miejscu postoju SP.

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające



Zależność liczby uderzeń pioruna od profilu lotu samolotu odrzutowego. Jedno uderzenie pioruna odpowiada 0,51%.

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Opady atmosferyczne

Na skutek opadów atmosferycznych może nastąpić:

- zablokowanie par kinematycznych,
- przebicie izolacji i zwarcie w obwodzie elektrycznym,
- zatkanie przewodu wentylacyjnego,
- zablokowanie śniegiem wewnątrz,
- utrudnienie eksploatacji w czasie startu i lądowania,
- oblodzenie SP.

Klimatyczno – przyrodnicze czynniki wymuszające

Oblodzenie SP

Rodzaje oblodzenia	Intensywność oblodzenia [mm/min]	Względne prawdopodobieństwo powstania oblodzenia [%]	Czas dyspozycyjny pilota do podjęcia decyzji zapobiegających [min]
Słabe	do 0,5	50	10 ... 20
Średnie	0,5 ... 1,0	35	5 ... 10
Silne (niebezpieczne)	1,0	13	2 ... 3
Zagrażające lotowi (awaryjne)	>1,0	2	0,5 ... 1

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Zapylenie

W wyniku zapylenia:

- pogorszenie się działania par kinematycznych,
- zwiększenie się zużycia par kinematycznych,
- zapylenie plus wilgoć – sprzyja korozji,
- pogorszenie pracy łożysk,
- pogorszenie właściwości traktu gazowo – powietrznego silnika odrzutowego - zmniejsza się jego moc,
- pogorszenie się pracy elektroautomatyki,
- pogorszenie się jakości urządzeń automatycznych,
- pył w czasie wykonywania obsługi może być przyczyną wtórnych uszkodzeń.

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Zasolenie gruntu i wody

Sól może przenikać następującymi drogami:

- z wilgotnego powietrza nasyconego parami morskiej wody,
- z pyłu z kryształkami soli,
- z wody czerpanej z miejscowych źródeł do celów technicznych.

Sól stwarza sprzyjające warunki do korozji

Wilgoć absorbowana z powietrza przez cząsteczki soli wytwarza elektrolit, zwielokrotniając prędkość przebiegu korozji oraz inne formy zużycia.

Czynniki wymuszające uszkodzenia SP

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Czynniki wymuszające warunkowe obsługiwane SP

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Przeciążenia

W czasie lotu na samolot działa siła masowa Q , siła aerodynamiczna R i siła ciągu silnika P .

Przeciążenie jest to stosunek wypadkowej wszystkich sił zewnętrznych do siły masowej.

Przeciążenie jest wielkością bezwymiarową i wektorową, skierowaną w kierunku przeciwnym do kierunku działania siły wywołującej to przeciążenie.

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Przeciążenia

Przeciążenie n rozkłada się zgodnie z osiami samolotu:

n_x - podłużne, skierowane wzdłuż osi O_x ;

n_y - boczne, skierowane wzdłuż osi O_y ;

n_z - normalne (pionowe), skierowane wzdłuż osi O_z .

Przeciążenia n_x i n_y są niewielkie.

Istotną rolę odgrywa przeciążenie n_z .

Podczas lotu bez ubioru przeciwprzeciążeniowego pilot zachowuje zdolność do pracy przy długotrwałym przeciążeniu $n_z = 2...4$ i krótkotrwałym przeciążeniu $n_z = 5... 6$.

W ubiorze przeciwprzeciążeniowym przy długotrwałym przeciążeniu $n_z = 3...5$ i krótkotrwałym przeciążeniu $n_z = 6... 8$. 31

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Wiatry ($V > 70$ m/s) mogą spowodować uszkodzenia SP na postoju, w czasie startu i lądowania

Groźny dla SP jest lot w burzliwej atmosferze

Stopień	Charakterystyka burzliwej atmosfery	Oddziaływanie burzliwej atmosfery na samolot i załogę	Wartości bezwzględne przyrostu przeciążeń
1	słaba	samolot lekko kołysze się; słabe pojedyncze „podrzuty”	$0,8 \leq n_z \leq 1,2$ $(\Delta n_z) \leq 0,2$
2	umiarkowana	wzrastające kołysanie; „podrzuty” bardziej częste i silne	$0,5 \leq n_z \leq 1,5$ $(\Delta n_z) \leq 0,5$
3	silna	samolot czasami „przepada”; silne „podrzuty”; załoga podlega przyciskaniu do foteli i odrywaniu od nich	$0 \leq n_z \leq 2$ $(\Delta n_z) < 1$
4	sztormowa	samolotem ciągle „rzuca”; załoga jest silnie przyciskana lub odrywana od foteli	$n_z < 0; n_z > 2$ $(\Delta n_z) > 1$

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Prędkość lotu

Siły aerodynamiczne i obciążenia konstrukcji SP są proporcjonalne do naporu dynamicznego.

$$q_{\max} = \frac{\rho V_{dop}^2}{2}$$

ρ – masowa gęstość powietrza na danej wysokości.

Siły te mogą uszkodzić pokrycie SP (skrzydła, kadłub, kabinę).

Zbyt mała prędkość lotu zagraża bezpieczeństwu lotu.

Lot z prędkością naddźwiękową powoduje powstawanie fal uderzeniowych.

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Definicje efektu detonacji na obiekty naziemne

Nadciśnienie, w Pa	Siła detonacji i zniszczenia
4,9 ... 14,7	Pojedyncze detonacje
4,9 ... 49	Bliskie detonacje lub grzmoty
49 ... 147	Całkiem bliskie i silne grzmoty (pękają i wylatują szyby okienne)
147 ... 490	Wylatują durze ramy okienne
490 ... 981	Zniszczeniu ulegają lekkie budowle

Czynniki wymuszające uszkodzenia SP

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Czynniki wymuszające warunkowe obsługiwane SP

Czynniki wymuszające warunkowe obsługiwane SP

W procesie obsługi mogą być **popelnione błędy**

Błędy przypadkowe:

1. Przekasowe uruchomienie urządzeń nie przewidywanych do uruchomienia (np. schowanie podwozia na stanowisku postojowym)
2. Błędne wykonanie niektórych działań elementarnych (np. wadliwy montaż, mocowanie)
3. Przekasowe pozostawienie materiałów lub narzędzi w SP po wykonaniu zadania obsługowego

Czynniki wymuszające uszkodzenia SP

Klimatycznie – przyrodnicze czynniki wymuszające

Czynniki wymuszające warunkowe użytkowanie SP

Czynniki wymuszające warunkowe obsługiwane SP

LOSOWOŚĆ

Rozkład wykładniczy

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

Rozkład gamma
 $f(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-\lambda t}}{\lambda^{-\alpha} \Gamma(\alpha)}$

$$R(k) = (1-p)^{k+1}$$

$S(t)$

$$\alpha = 1$$

$$\alpha = 1$$

$$pk \subset [0,1; 20]$$

$S(t)$ – proces stacjonarny malejącej korelacji przy oddziaływaniu zewnętrznym

Rozkład wykładniczy

$$R(t) = \exp[-\lambda t]$$

$$E[T] = \lambda^{-1}$$

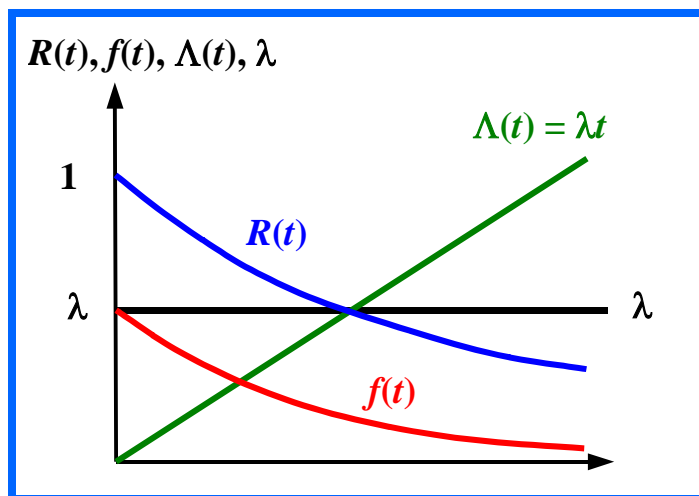
$$\nu = 2$$

$$f(t) = \lambda \exp[-\lambda t]$$

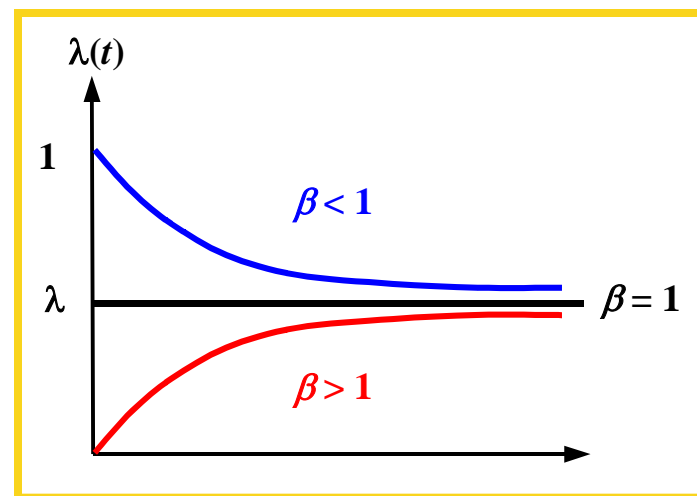
$$V[T] = \lambda^{-2}$$

$$\tilde{f}(s) = \frac{\lambda}{s + \lambda}$$

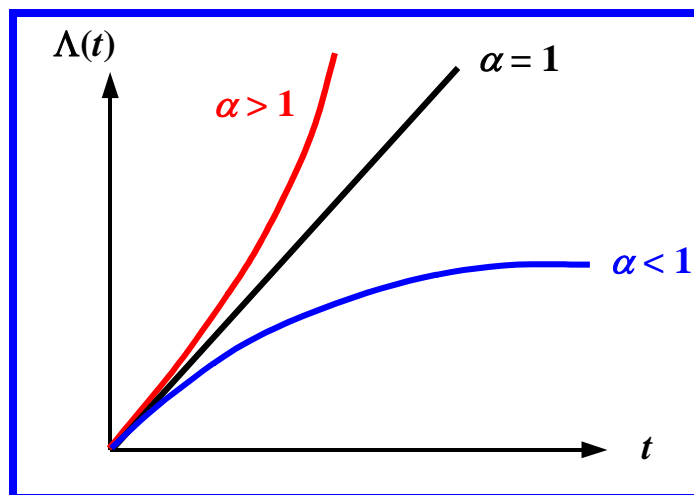
Rozkład wykładniczy – gamma – Weibulla



Rozkład wykładniczy



Rozkład gamma - wykładniczy



Rozkład Weibulla - wykładniczy

STOSOWANE STANDARDY W ZAKRESIE ZAPOBIEGANIA USZKODZENIOM SP

NA NASTĘPNYM WYKŁADZIE

SYSTEMOWOŚĆ LOTNICTWA CYWILNEGO

- Każde Państwo, należące do ICAO, ma swój nadzór lotniczy oraz regulacje prawne w zakresie przepisów lotniczych z odniesieniem do standardów i rekomendowanych sposobów ich spełnienia – SARPs, podanych w postaci 19 załączników do Konwencji Chicagowskiej
- Organizacja ICAO stanowi agendę ONZ i została powołana mocą Konwencji Chicagowskiej w grudniu 1944 roku do pełnienia roli „strażnika” w zakresie bezpieczeństwa w lotnictwie cywilnym. SARPs-y, stanowiące 19 załączników do Konwencji Chicagowskiej, ujednolicają wytyczne w zakresie tworzenia lokalnego prawa lotniczego w państwach członkowskich ICAO

SYSTEMOWOŚĆ LOTNICTWA CYWILNEGO

- Poszczególne państwa członkowskie ICAO inicjują działania w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa latania poprzez wspólne tworzenie i rozwój załączników do Konwencji Chicagowskiej w zakresie wszystkich działań w globalnym systemie lotnictwa cywilnego
- Działania na rzecz bezpieczeństwa lotów realizowane są poprzez badania, rozwój i wdrażanie systemu zarządzania bezpieczeństwem.
- System zarządzania bezpieczeństwem (SMS) ujęty jest przepisami lotniczymi zgodnie z załącznikiem 19 do Konwencji Chicagowskiej

SYSTEMOWOŚĆ LOTNICTWA CYWILNEGO

- W Unii Europejskiej nadzór lotniczy sprawuje Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) a krajowe nadzory lotnicze (NAA,CAA) pełnią rolę reprezentanta EASA-y na dany kraj
- Uregulowania prawne stanowi norma (EC) Nr 216/2008
- Uregulowania te obejmują przepisy wykonawcze stanowiące Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej

SYSTEMOWOŚĆ LOTNICTWA CYWILNEGO

- przepisy wykonawcze dotyczą certyfikacji podmiotów gospodarczych prowadzących działalność lotniczą oraz nowych produktów lotniczych.
- Przepis Part 21, stanowiący załącznik 1 do rozporządzenia Komisji (WE) nr 748/2012 reguluje wymagania w zakresie certyfikacji wszystkich organizacji projektujących i produkujących leżących w krajach członkowskich lub poza UE na życzenie danego kraju a Załącznik CS tego rozporządzenia stanowi zestaw przepisów w zakresie certyfikacji typów nowych statków powietrznych i ich wyposażenia. Rozporządzenie to reguluje również wymogi odnośnie poważnych zmian w zakresie wydanych certyfikatów
- Przepisy w zakresie eksploatacji statków powietrznych ujęte są w załącznikach do Rozporządzenia Komisji (WE) 2042/2003 w zakresie certyfikacji przedsiębiorstw eksploatujących statki powietrzne (Załącznik I: Part M), certyfikacji organizacji obsługowych (Załącznik II: Part 145), certyfikacji naziemnego personelu lotniczego (Załącznik III: Part 66) oraz organizacji szkoleniowych (Załącznik IV: Part 147). System zarządzania ciągłą zdatnością do lotu opisany jest w dokumencie CAME - *Continuous Airworthiness Management Exposition*, ujmującym standardy i praktyki zgodnie z przepisami Part M i jest podstawowym dokumentem wraz z Instrukcją Operacyjną (OM) operatora lotniczego, warunkującym zarządzanie ciągłą zdatnością do lotu floty.

SYSTEMOWOŚĆ LOTNICTWA CYWILNEGO

- W Polsce podstawą prawną,
w zakresie działalności w lotnictwie cywilnym,
jest *Ustawa z dnia 3 lipca 2002 r.
Prawo lotnicze z późniejszymi zmianami*

PODSUMOWANIE I WNIOSKI



INTENSYWNOŚĆ USZKODEŃ

