

# Niezawodność i diagnostyka systemów

## W1 - Wprowadzenie

dr hab. inż. Henryk Maciejewski

dr inż. Marek Woda

<https://eportal.pwr.edu.pl>

1. Wprowadzenie
2. Matematyczna teoria niezawodności – parę faktów z historii
3. Współczesna teoria i praktyka niezawodności – dziedziny zainteresowania
4. Program wykładu

# Wprowadzenie

Niezawodność (*Reliability*) – własność obiektu, wyrażana za pomocą prawdopodobieństwa, że obiekt realizuje zadaną funkcję, w zadanych warunkach, w zadanym przedziale czasu (czas misji)

- Obiekt – nienaprawialny, naprawialny, system, nadmiarowość ...
- Zadana funkcja – parametr(y), które ją opisują zadajemy z pewną tolerancją
- Warunki pracy – wpływają na niezawodność (np. intensywność uszkodzeń półprzewodników rośnie 2x przy wzroście temperatury o 10-20°C)
- Niezawodność wyrażana często jako funkcja czasu misji  $R(t)$ , inne miary probabilistyczne

# Matematyczna teoria niezawodności – parę faktów z historii

- lata 40-te – wiele wypadków podczas prób i eksploatacji niemieckich rakiet V-1 i V-2
- wczesne lata 50-te - liczne wypadki rakiet testowanych przez armię USA
- od 1952 - katastrofy samolotu Comet produkcji firmy British de Havilland



Comet Mk1

# Pierwszych 10 katastrof Cometa

Nr	Date	Type	Registration	SN	Operator	Fatalities	Location	Cause
1	26 Oct 52	Comet 1	<a href="#">G-ALYZ</a>	6012	B.O.A.C.	0/8 + 0/35	Rome, Italy	Aircraft
2	03 Mar 53	Comet 1A	<a href="#">CF-CUN</a>	6014	Canadian Pacific	5/5 + 6/6	Karachi, Pakistan	Aircraft
3	02 May 53	Comet 1	<a href="#">G-ALYV</a>	6008	B.O.A.C.	6/6 + 37/37	Calcutta, India	Aircraft
4	25 Jun 53	Comet 1A	<a href="#">F-BGSC</a>	6019	UAT	0/7 + 0/10	Dakar, Senegal	Pilot
5	10 Jan 54	Comet 1	<a href="#">G-ALYP</a>	6003	B.O.A.C.	6/6 + 29/29	Elba, Italy	Aircraft
6	08 Apr 54	Comet 1	<a href="#">G-ALYY</a>	6011	South African Airways	7/7 + 14/14	Stromboli, Italy	Aircraft
7	27 Aug 59	Comet 4	<a href="#">LV-AHP</a>	6411	Aerolineas Argentinas	1/6 + 1/44	Asuncion, Paraguay	Pilot
8	20 Feb 60	Comet 4	<a href="#">LV-AHO</a>	6410	Aerolineas Argentinas	0/6 + 0/0	Buenos Aires, Argentina	Pilot
9	23 Nov 61	Comet 4	<a href="#">LV-AHR</a>	6430	Aerolineas Argentinas	12/12 + 40/40	Sao Paulo, Brazil	Pilot
10	21 Dec 61	Comet 4B	<a href="#">G-ARJM</a>	6456	British European Airways	7/7 + 20/27	Ankara, Turkey	Aircraft

razem było ich 20

- Początek lat 50-tych - podjęcie prac nad konstrukcją samolotu Boeing 707 (Boeing Scientific Research Laboratory, Seattle)



Boeing 707



## Zygmunt William Birnbaum (1903 - 2000)

- 1925, ukończył Wydział Prawa Uniwersytetu we Lwowie
- 1929, uzyskał na Uniwersytecie we Lwowie stopień doktora matematyki (promotorem był prof. Hugo Steinhaus)
- od 1937 roku w USA (University of Washington w Seattle, lata 50-te i 60-te współpraca z Boeing SRL w dziedzinie niezawodności)
- W 1961 roku opublikował pracę „*Multi-component systems and their structures and their reliability*”, która zapoczątkowała matematyczną teorię niezawodności



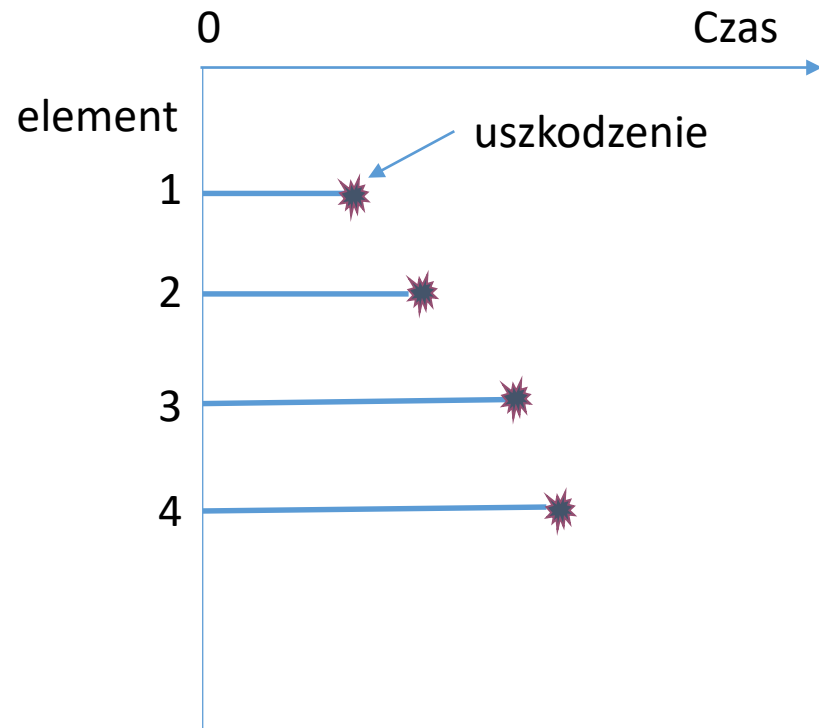
# Współczesna teoria i praktyka niezawodności

1. Określanie czasu życia elementów  
(*life testing*)
2. Analiza niezawodności systemów  
(*system reliability*)
3. Projektowanie z uwzględnieniem niezawodności  
(*design for reliability*)
4. Obsługa i niezawodność  
(*maintenance and reliability*)
5. Przyspieszone badania niezawodności
6. Badanie fizyki uszkodzeń

# Określania czasu życia elementów (*Life testing*)

**Element** – najmniejszy, niepodzielny obiekt na przyjętym poziomie rozważań

**Cel analizy** – określenie rozkładu czasu życia elementu lub jego parametrów (np. średniej)

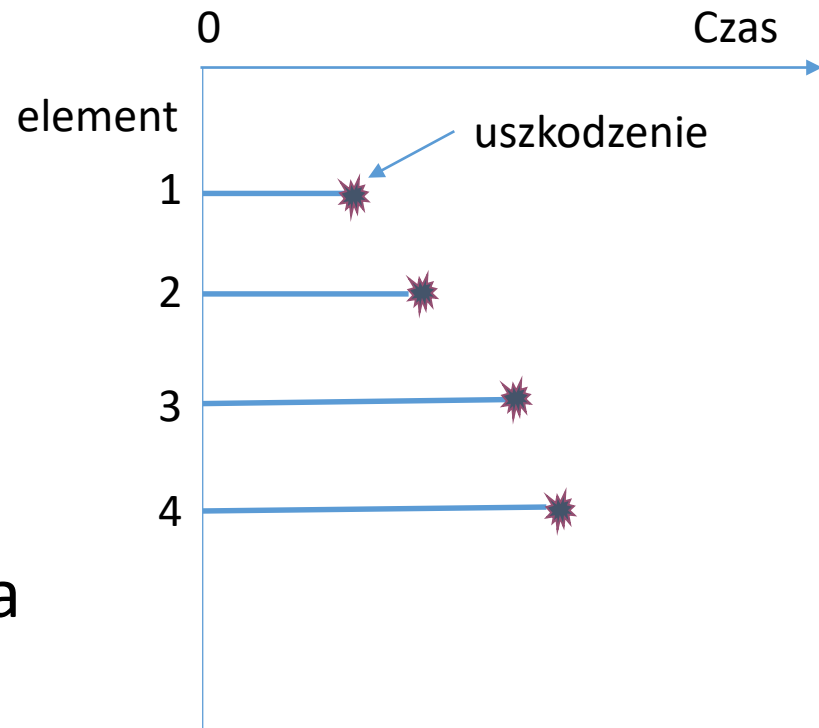


# Określania czasu życia elementów (*Life testing*)

## Badania

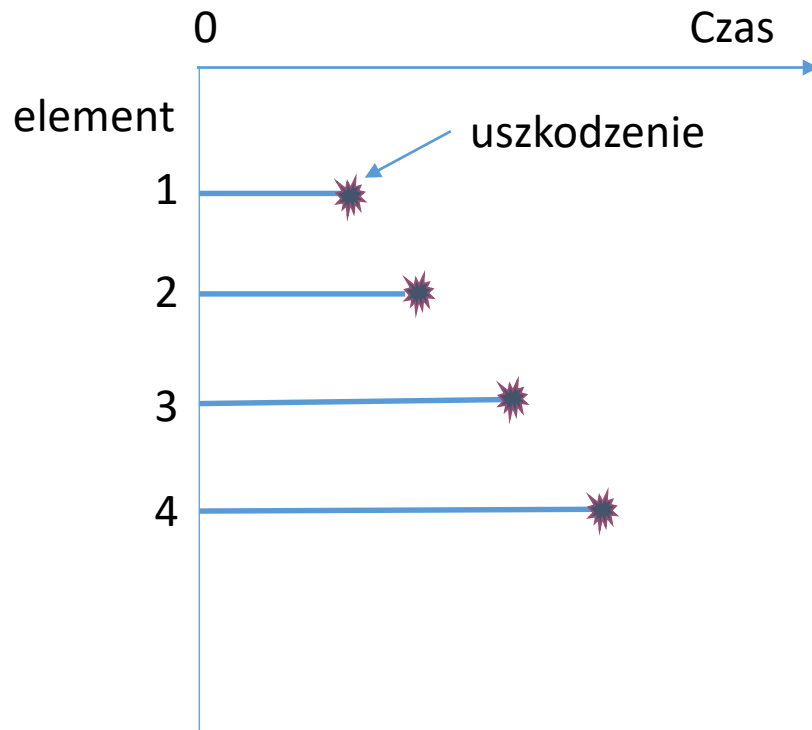
**niezawodnościowe** – w celu zebrania danych o uszkodzeniach, analiza statystyczna – wyznaczenie czasu życia

**Problemy** – trudność w uzyskaniu wystarczającej ilości danych  
konieczność wnioskowania z prób obciążonych

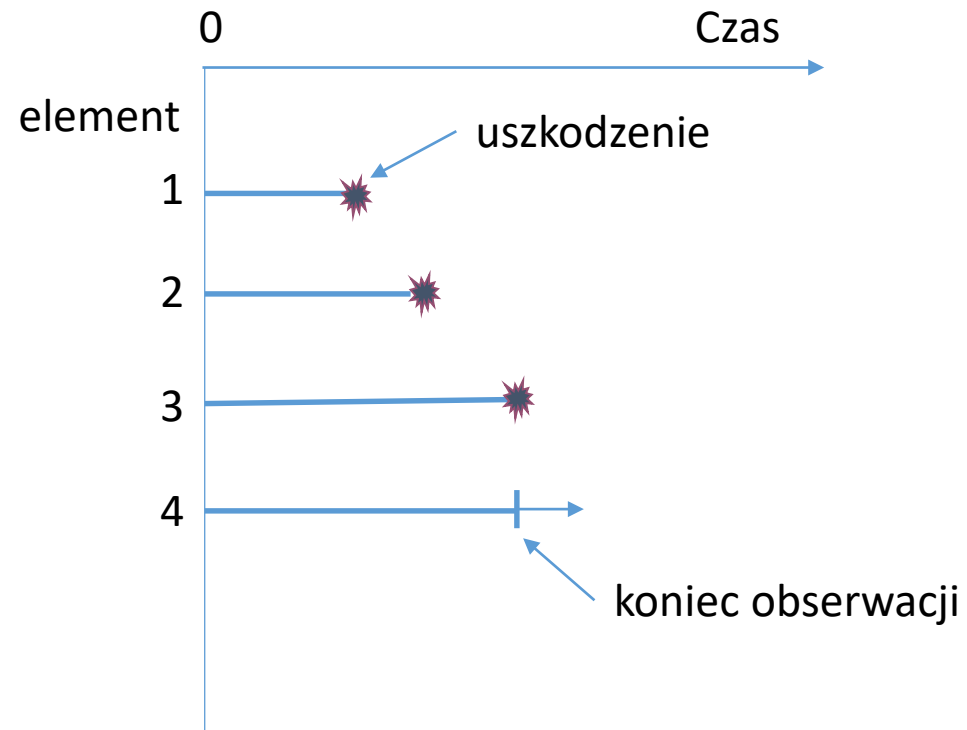


# Określania czasu życia elementów (*Life testing*)

## Próba pełna



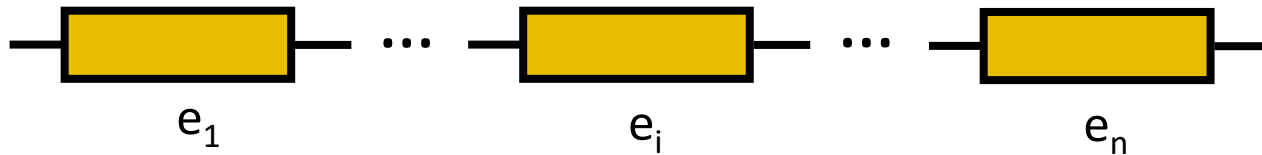
## Próba obciąża



# Analiza niezawodności systemów (*System reliability*)

- **system** – zbiór elementów i powiązań pomiędzy nimi

Przykład: system szeregowy



system szeregowy (reprezentacja graficzna)

Warunek sprawności systemu:

System szeregowy jest sprawny, gdy są sprawne wszystkie wchodzące w jego skład elementy.

- **model systemu** – modele elementów i warunek sprawności systemu
- **cel analizy** – określenie niezawodności systemu na podstawie danych o niezawodności jego elementów składowych, bez konieczności przeprowadzania badań systemu (np. przed jego wyprodukowaniem)
- **problemy** – trudności wynikające z niedostatków metod analitycznych i złożoności analizowanych systemów

Istnieje wiele metod opisu i algorytmów obliczeniowych stosowanych dla wyznaczania niezawodności systemów.

Przykładem jest metodologia stosowana w normie **MIL 271** (Departament Obrony USA), umożliwiająca analizę niezawodności urządzeń elektronicznych.

# Obsługa i niezawodność

## *(Maintenance and reliability)*

- **badanie stanu obiektu** – czynności mające na celu zebranie informacji o tym, czy obiekt jako całość jest zdolny do działania
- **lokalizacja uszkodzeń** – w przypadku stwierdzenia uszkodzeń, określenie miejsc gdzie one występują
- **usuwanie uszkodzeń** – organizacja procesu napraw i samo ich wykonanie
- **prognozowanie** – przewidywanie zachowania się obiektu w przyszłości
- **profilaktyka** – działania uprzedzające mające na celu podwyższenie niezawodności

# Przykład – analiza wpływu przeglądów / napraw prewencyjnych na niezawodność

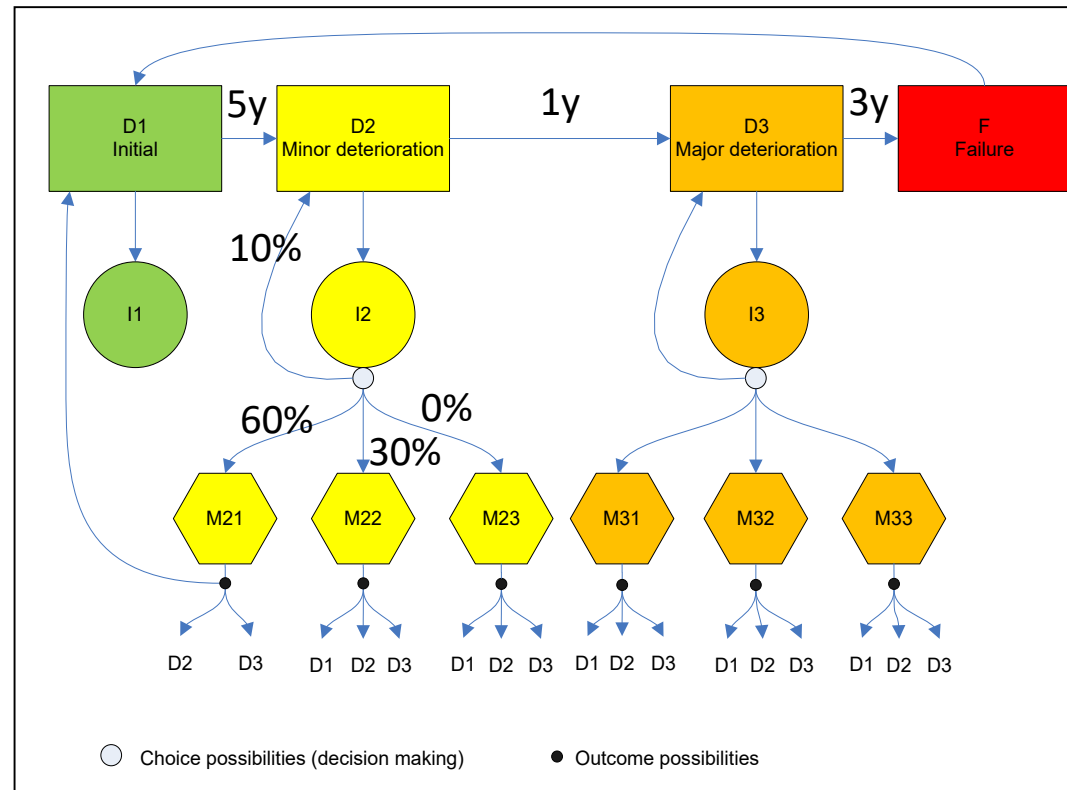
- Budujemy probabilistyczny model procesu życia/inspekcji/napraw (proces Markowa)

D – stany sprawności systemu

I – stany inspekcji

M – stany napraw

Określamy czasy przejść między stanami, czas realizacji inspekcji i napraw oraz prawdopodobieństwa decyzji





# Przykład – analiza wpływu przeglądów / napraw prewencyjnych na niezawodność

- Rozwiązanie:

czasy przejścia (do awarii)

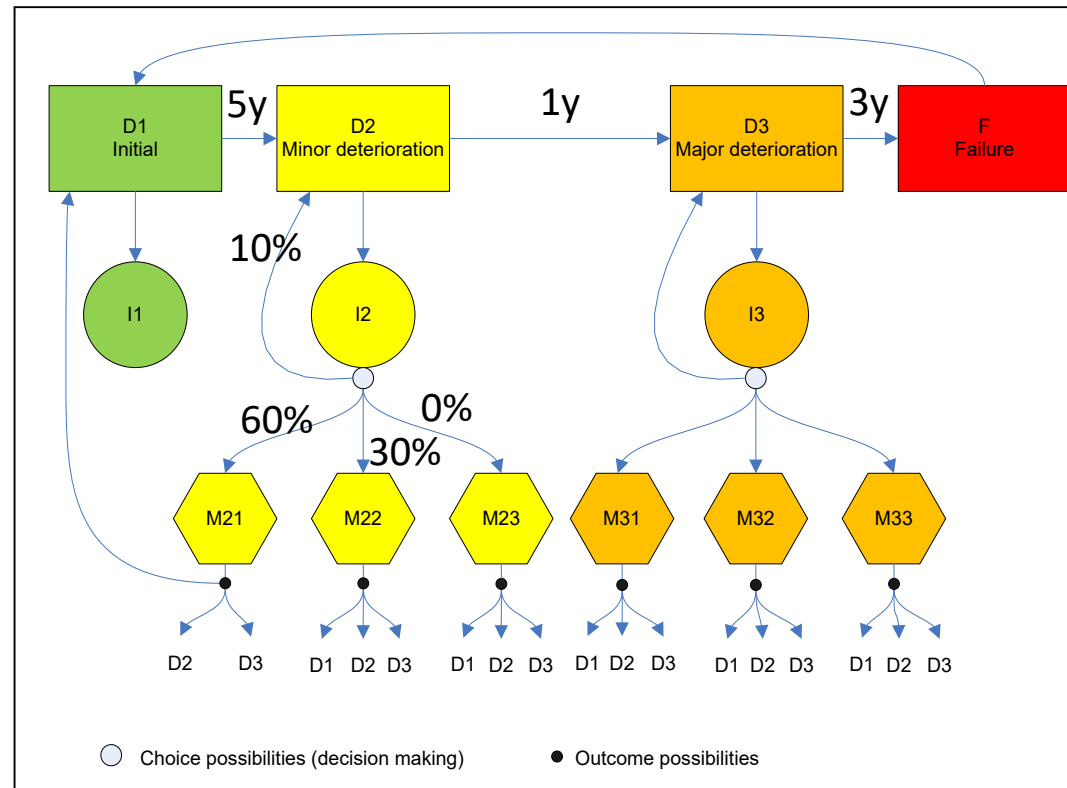
$D1 \rightarrow F$

$D2 \rightarrow F$

$D3 \rightarrow F$

prawdopodobieństwa  
przebywania w systemu w  
stanach

- Rozwiązanie analityczne  
procesu Markowa  
(rozwiązanie symulacyjne  
jeśli chcemy znać rozkłady  
czasów przejść)



System in initial state of deterioration (D1)		
D1	D1-->D2	5 Transition time to next deterioration state [year]
	D1-->I1	1 Transition time to inspection [year]
I1	ul1	7,0192308 Inspection duration [days]
	cl1	1 Cost of state

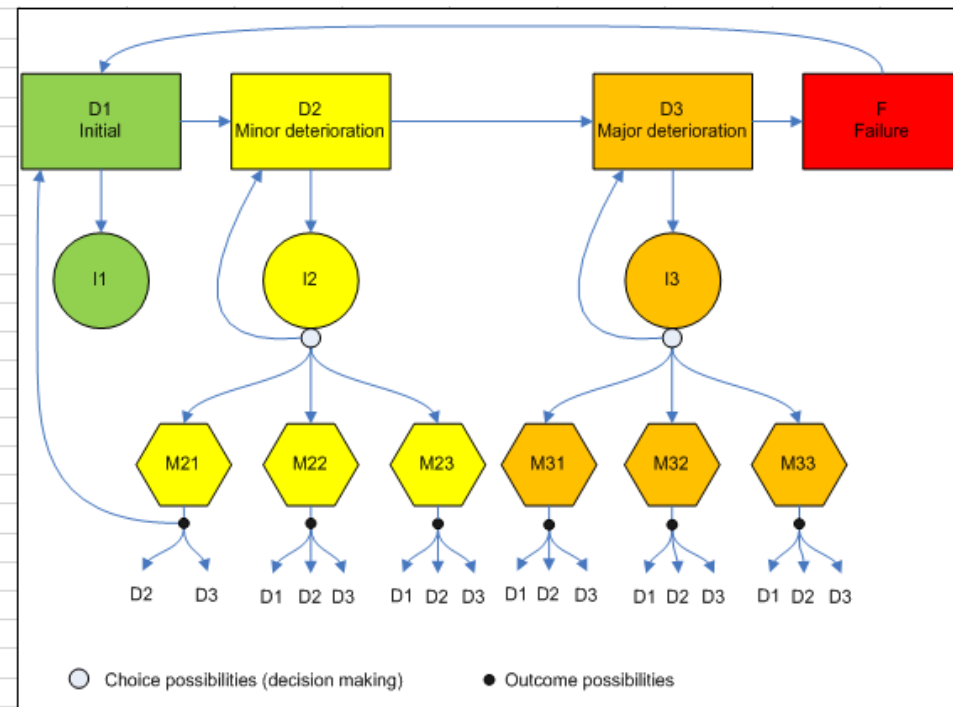
System in minor state of deterioration (D2)		
D2	D2-->D3	1 Transition time to next deterioration state [year]
	D2-->I2	10 Transition time to inspection [year]
I2	ul2	7,0192308 Inspection duration [days]
	I2-->M21	182,5 Time to minor maintenance [days]
	I2-->M22	182,5 Time to medium maintenance [days]
	I2-->M23	182,5 Time to major maintenance [days]
	pl2-->M21	60 Probability: do minor maintenance
	pl2-->M22	30 Probability: do medium maintenance
	pl2-->M23	0 Probability: do major maintenance
	pl2-->D2	10 Probability: do nothing
cl2		5 Cost of state

M21	uM21	14,038462 Minor maintenance duration [days]
	pM21-->D1	20 Probability: after maintenance system as new (D1)
	pM21-->D2	75 Probability: after maintenance system in state D2
	pM21-->D3	5 Probability: after maintenance system in state D3
	cM21	50 Cost of state

M22	uM22	14,038462 Medium maintenance duration [days]
	pM22-->D1	25 Probability: after maintenance system as new (D1)
	pM22-->D2	70 Probability: after maintenance system in state D2
	pM22-->D3	5 Probability: after maintenance system in state D3
	cM22	50 Cost of state

M23	uM23	30,416667 Major maintenance duration [days]
	pM23-->D1	30 Probability: after maintenance system as new (D1)
	pM23-->D2	65 Probability: after maintenance system in state D2
	pM23-->D3	5 Probability: after maintenance system in state D3
	cM23	50 Cost of state

System in major state of deterioration (D3)		
D3	D3-->F	3 Transition time to failure state [year]
	D3-->I3	10 Transition time to inspection [year]
I3	ul3	7,0192308 Inspection duration [days]



Results: times to failure

from D1	9,649513
from D2	4,553362
from D3	3,488037

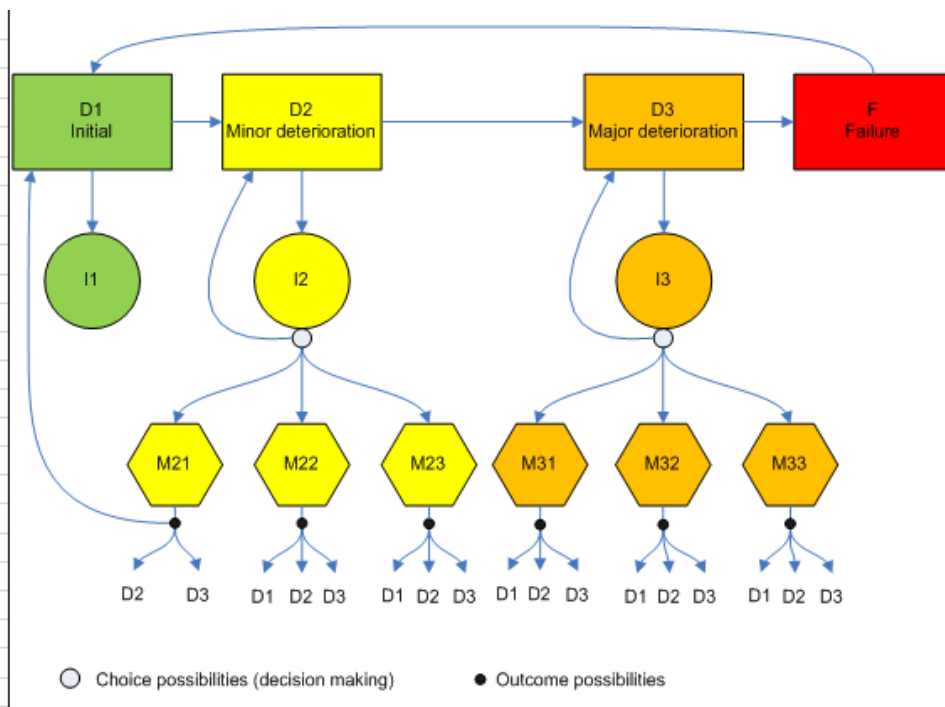
Czas do awarii 9,6 lat

Results: steady state probabilities

D1	0,505278
D2	0,104103
D3	0,279936
F	0,093901

Inspekcje co 10 lat

System in initial state of deterioration (D1)			
D1	D1->D2	5	Transition time to next deterioration state [year]
	D1->I1	1	Transition time to inspection [year]
I1	ul1	7,0192308	Inspection duration [days]
	cl1	1	Cost of state
System in minor state of deterioration (D2)			
D2	D2->D3	1	Transition time to next deterioration state [year]
	D2->I2	1	Transition time to inspection [year]
I2	ul2	7,0192308	Inspection duration [days]
	I2->M21	182,5	Time to minor maintenance [days]
	I2->M22	182,5	Time to medium maintenance [days]
	I2->M23	182,5	Time to major maintenance [days]
	pl2->M21	60	Probability: do minor maintenance
	pl2->M22	30	Probability: do medium maintenance
	pl2->M23	0	Probability: do major maintenance
	pl2->D2	10	Probability: do nothing
	cl2	5	Cost of state
M21	uM21	14,038462	Minor maintenance duration [days]
	pM21->D1	20	Probability: after maintenance system as new (D1)
	pM21->D2	75	Probability: after maintenance system in state D2
	pM21->D3	5	Probability: after maintenance system in state D3
	cM21	50	Cost of state
M22	uM22	14,038462	Medium maintenance duration [days]
	pM22->D1	25	Probability: after maintenance system as new (D1)
	pM22->D2	70	Probability: after maintenance system in state D2
	pM22->D3	5	Probability: after maintenance system in state D3
	cM22	50	Cost of state
M23	uM23	30,416667	Major maintenance duration [days]
	pM23->D1	30	Probability: after maintenance system as new (D1)
	pM23->D2	65	Probability: after maintenance system in state D2
	pM23->D3	5	Probability: after maintenance system in state D3
	cM23	50	Cost of state
System in major state of deterioration (D3)			
D3	D3->F	3	Transition time to failure state [year]
	D3->I3	1	Transition time to inspection [year]
I3	ul3	7,0192308	Inspection duration [days]



Results: times to failure

from D1 14,83071  
from D2 9,734563  
from D3 8,227189

Czas do awarii 14,8 lat

Results: steady state probabilities

D1 0,573854  
D2 0,112784  
D3 0,178251  
F 0,063168

Inspekcje co 1 rok

# Plan wykładu

1. Wprowadzenie  
Podstawy matematyczne - przypomnienie
2. Element nienaprawialny
  - Model matematyczny, miary niezawodności, rozkłady
3. Eksperyment niezawodnościowy
  - *Life testing*, analiza danych, próby pełne, próby obcięte
4. Analiza niezawodności systemów
  - Struktury niezawodnościowe, nadmiarowość

## 5. Element naprawialny

- Wprowadzenie do teorii procesów stochastycznych, proces Markowa
- Obsługa i niezawodność (*maintenance and reliability*)

## 6. Zarządzania usługami IT w przedsiębiorstwie

- ITIL
- Zarządzenie dostępnością, ciągłością

## 7. Transmisja cyfrowa

## 8. Kody nadmiarowe

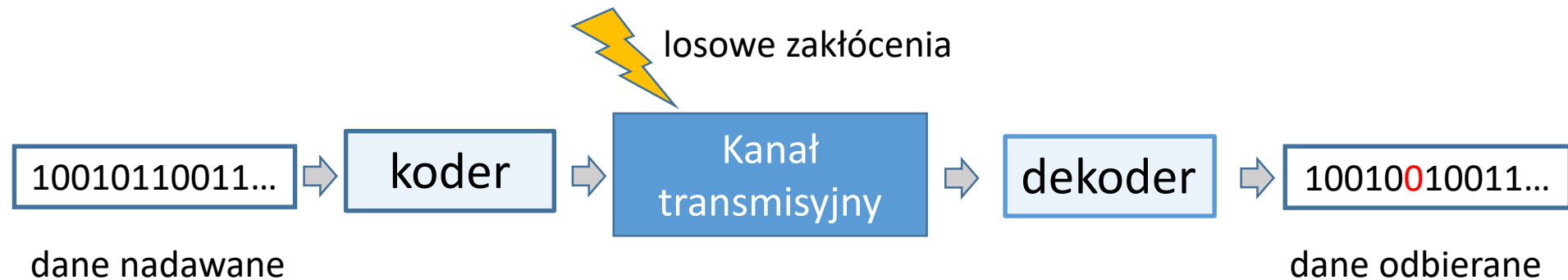
## 9. Testowanie układów cyfrowych

# 6. Zarządzania usługami IT w przedsiębiorstwie

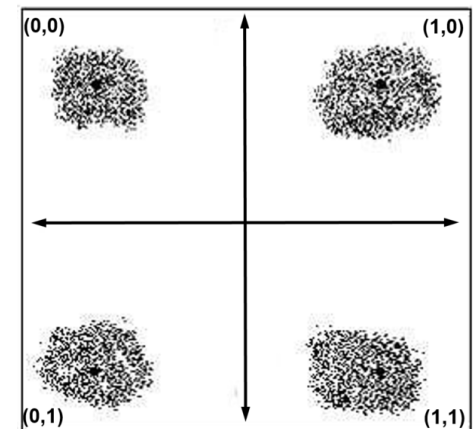
- Zapewnienie **wysokiej dostępności** usług IT
- Metodyka / *best practices*: ITIL (IT Infrastructure Library)



# 7-8 Transmisja cyfrowa

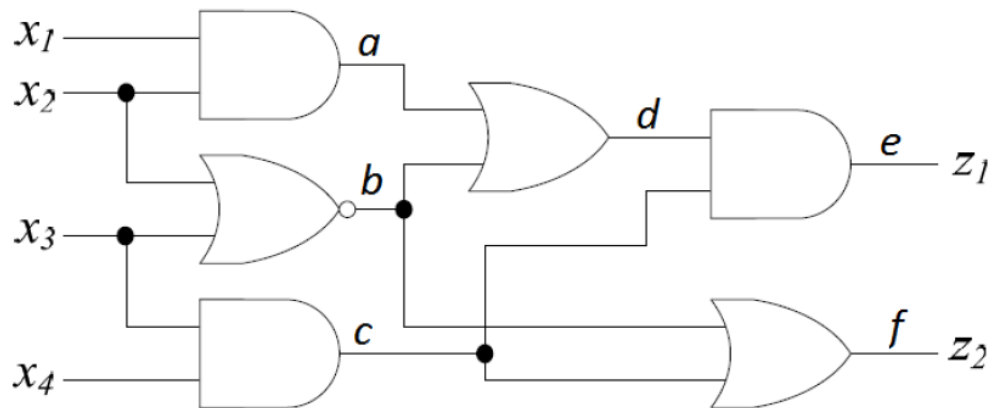


- Kody nadmiarowe w systemach transmisji cyfrowej
  - Detekcyjne (systemy ARQ – Automatic Repeat Request), korekcyjne (FEC – forward error correction)
  - Blokowe, cykliczne
  - Błędy pojedyncze, grupowe
- Modulacja – wpływ zakłóceń, np. QPSK
- Scrambling



# 9 Testowanie układów cyfrowych

- Generowanie wektorów testowych
- Np. **s-a-0 @ b** w układzie kombinacyjnym





	Temat	Kto
1	Wprowadzenie Podstawy matematyczne teorii niezawodności	HM
2	Element nienaprawialny, podstawy matematyczne, miary niezawodności, rozkłady	HM
3	Eksperyment niezawodnościowy, analiza wyników (badania pełne, próby obcięte)	HM
4	Analiza niezawodności systemów, Struktury niezawodnościowe, nadmiarowość	HM
5	Element naprawialny Wprowadzenie do teorii procesów stochastycznych	HM
6	Proces Markowa Obsługa i niezawodność ( <i>maintenance and reliability</i> )	HM
7	Zarządzanie usługami IT w przedsiębiorstwie (ITIL)	MW
8	Zarządzenie poziomem, dostępnością i ciągłością usług w przedsiębiorstwie	MW

	Temat	Kto
9	Transmisja cyfrowa	HM, MW
10	Kody nadmiarowe Podstawowe pojęcia, rodzaje i własności kodów, zdolność detekcyjna i korekcyjna	HM
11	Kody liniowe, cykliczne, korygowanie błędów seryjnych, Zastosowania w systemach ARQ, FEC; protokoły ARQ, modele kanałów transmisyjnych	HM
12	Testowanie układów cyfrowych	HM
13	Kolokwium	HM

# Literatura

- A. Birolini, Reliability engineering: theory and practice. Springer, 2007.
- P. O'Connor, Practical reliability engineering. Wiley, 2007.
- W. Mochnacki, Kody korekcyjne i kryptografia, Oficyna Wydawnicza PWr., 2000.
- W. Nelson, Applied Life Data Analysis. Wiley, 2004.

# Literatura

- D.J. Smith, Reliability, Maintainability and Risk - Practical Methods for Engineers (8th Edition). Elsevier, 2011.  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpRMRPME19/reliability-maintainability-2/reliability-maintainability-2>
- D. Daley, Design for Reliability - Developing Assets That Meet the Needs of Owners. Industrial Press, 2011.  
<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpDRDATMNF/design-reliability-developing/design-reliability-developing>
- B. Wilkinson, Układy cyfrowe, WKŁ