

KABEL 2016

---

# Ocena niezawodności elektroenergetyki i teleinformatyki w Smart Grid

Dr. Bartłomiej Arendarski, Dr. Przemysław Komarnicki, Prof. Zbigniew Styczynski  
Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation IFF

Krynica-Zdrój, 16.03.2016

---

---

# Spis treści

1. Sytuacja wyjściowa → Smart Grid
2. niezawodność dostaw energii - statystyki
3. Czterokrokowy algorytm obliczania niezawodności Smart Grid
4. Symulacje i praktyczna realizacja
5. Podsumowanie

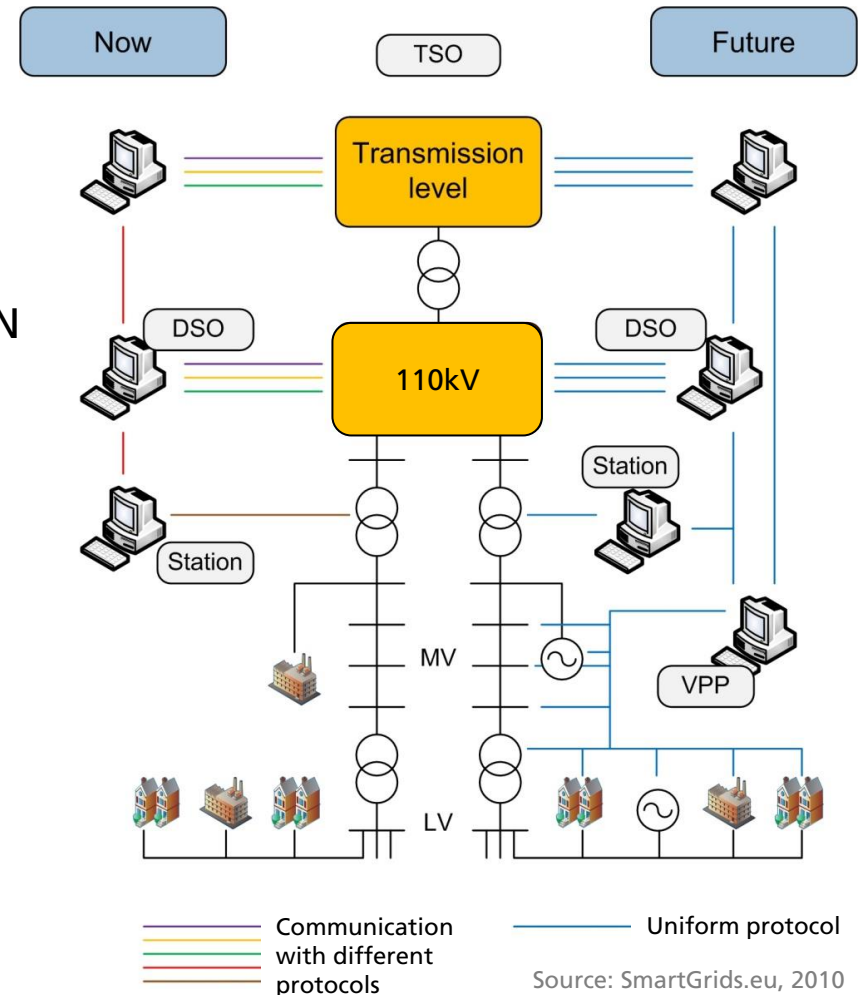
# Sytuacja wyjściowa → Smart Grid

## ■ Współczesne sieci energetyczne

- Lokalna generacja w sieci dystrybucyjnej
- Stochastyczny charakter generacji rozproszonej (np. wiatr, PV)
- Ograniczone informacje o stanie sieci SN i nN

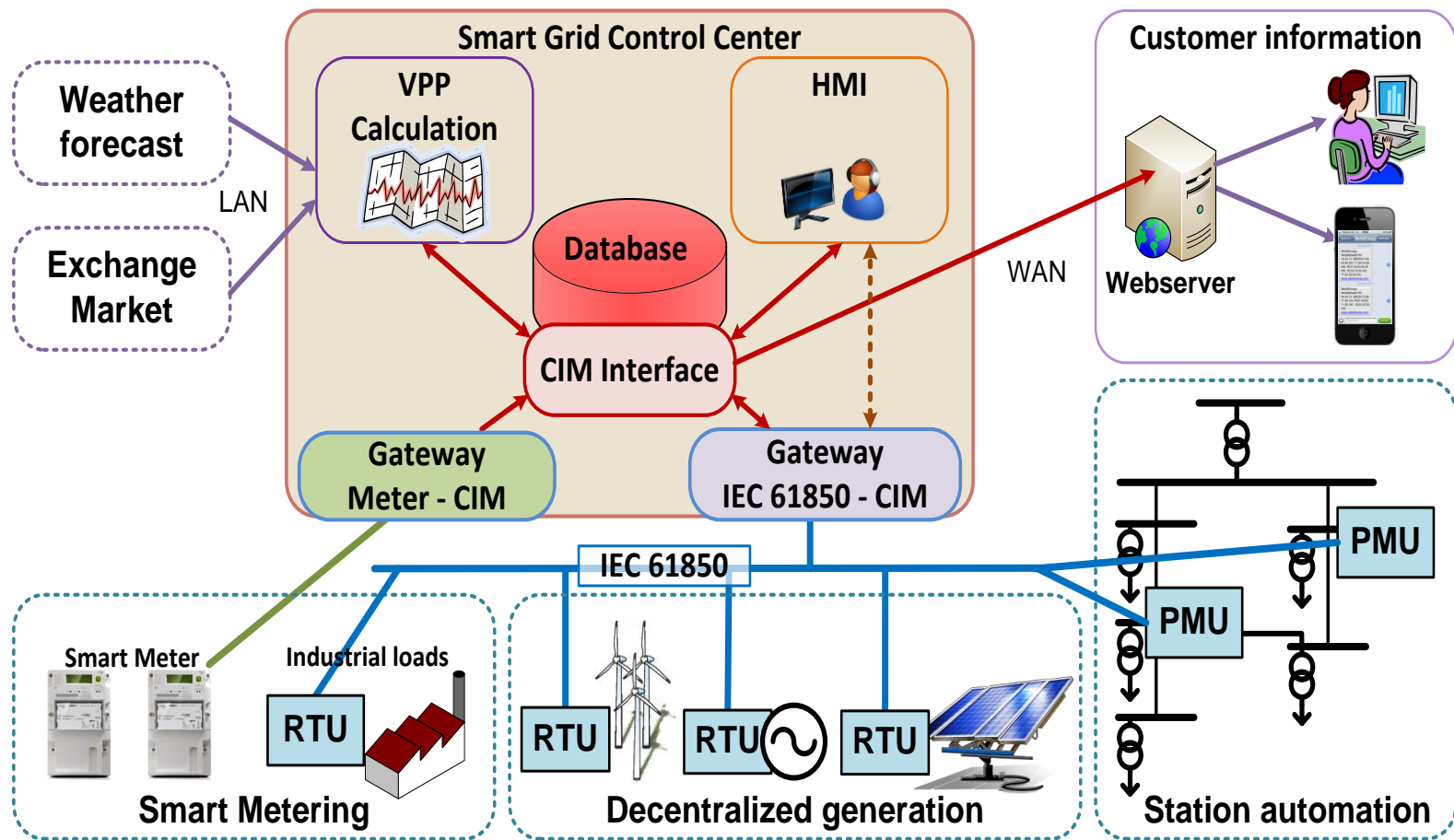
## ■ Sieci inteligentne - Smart Grid

- Komunikacja między wszystkimi aktorami sieci
- Świadczenie usług systemowych
- Zwiększona złożoność systemu
- Współpraca techniczno-rynkowa

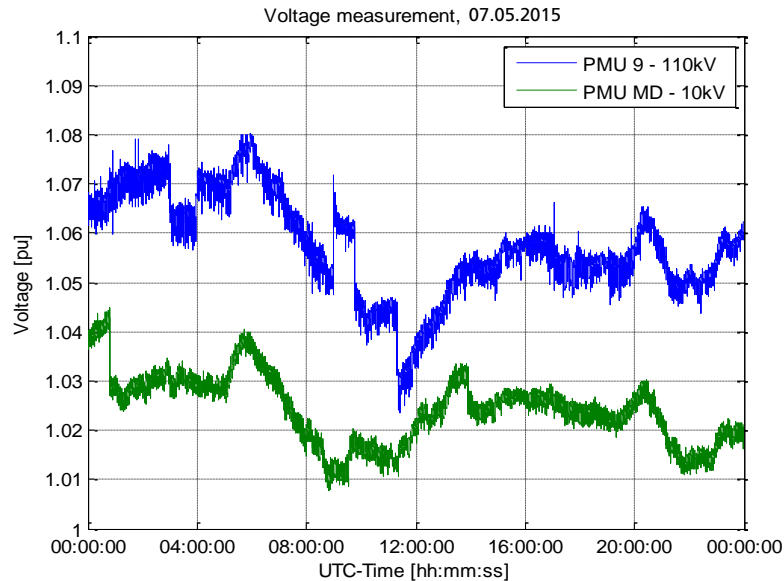


# Koncept inteligentnych sieci elektroenergetycznych

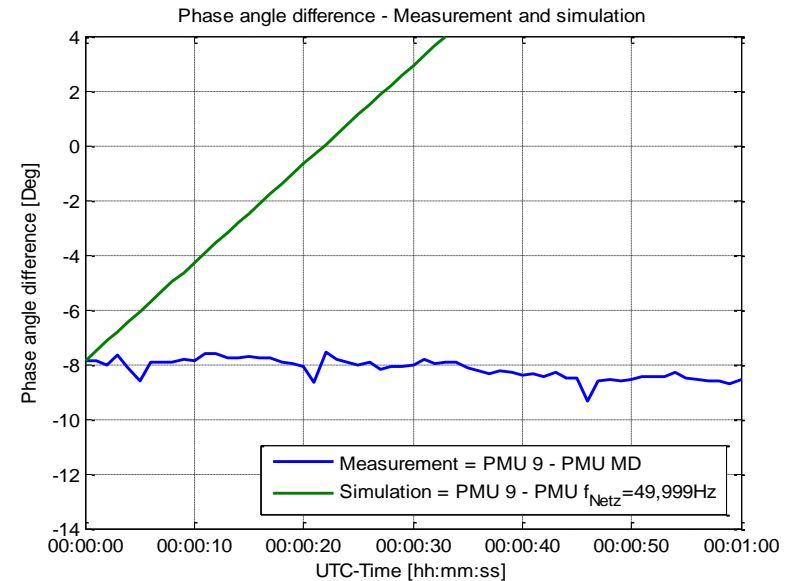
Architektura teleinformatyczna oparta na standardach Smart Grid



# Praktyczna implementacja systemu monitorowania



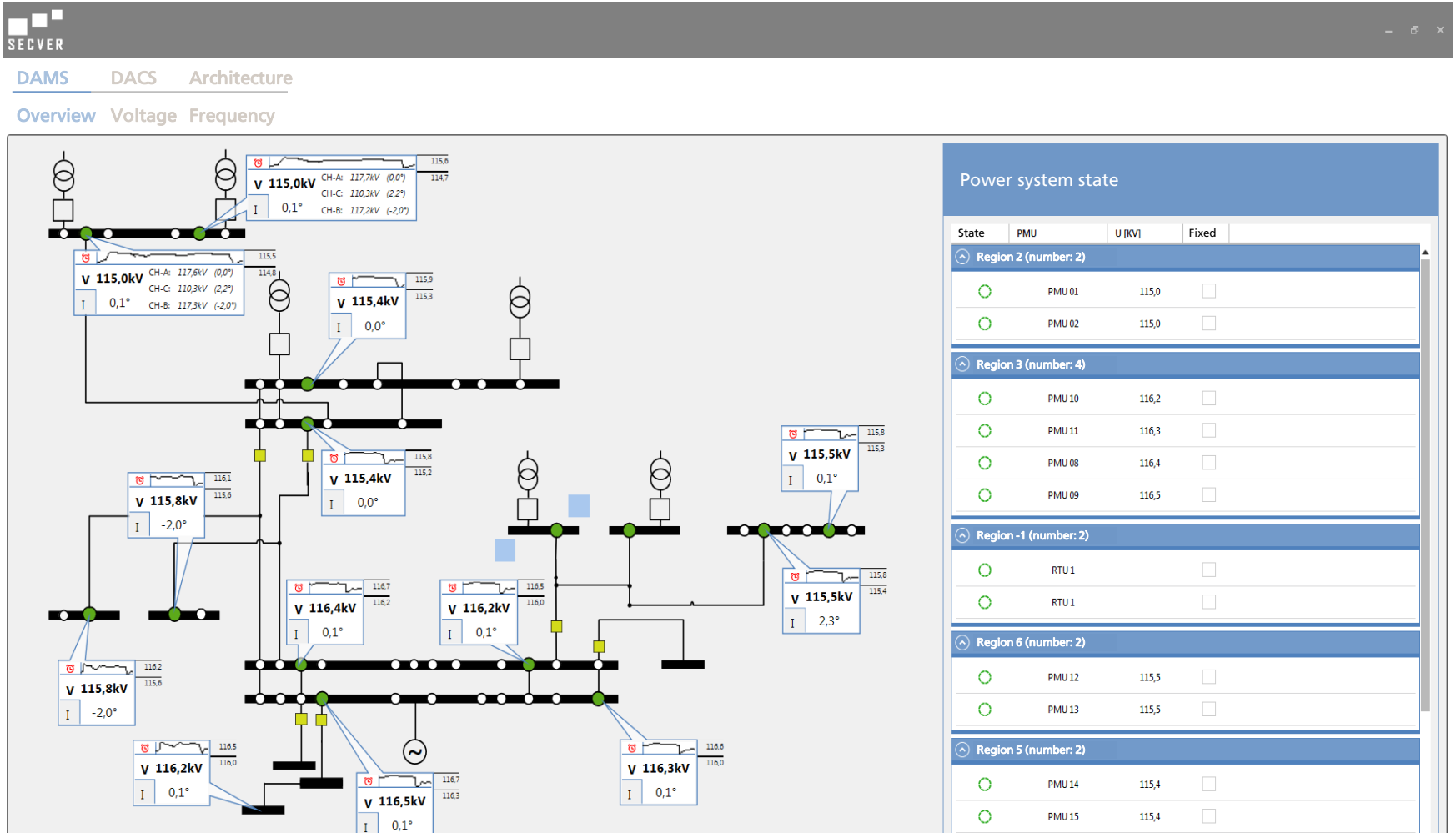
Widoczna tendencja profilu napięcia 110 kV na poziomie 10 kV



Różnica kąta fazowego między rzeczywistymi pomiarami i symulacją – możliwość wykrycia niesynchronizacji systemu



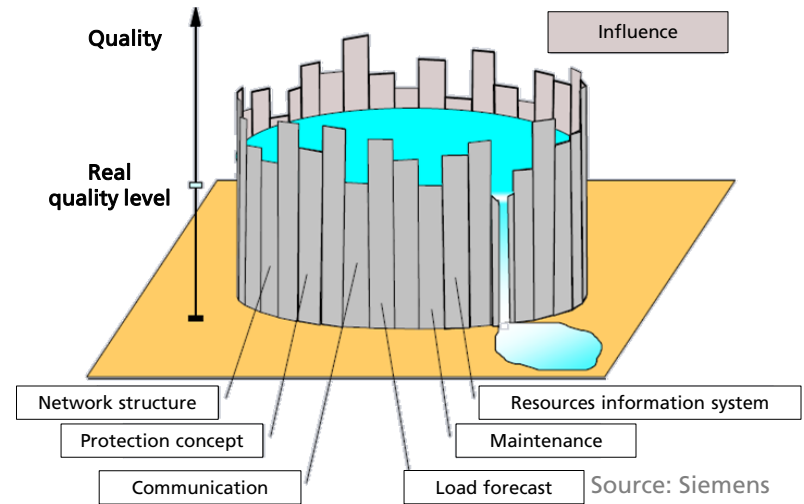
# System monitorowania i kontroli obszaru dystrybucji



6

# Niezawodność dostaw energii

- Jakość zasilania elektrycznego
  - Funkcjonalność
  - Utrzymanie
  - Gotowość do działań naprawczych
- Koncept niezawodności Smart Grid



Electrical network reliability



Communication network reliability



Source: Hitachi Smart Grid

Smart Grid reliability

# Czynniki wpływające na niezawodność

## ■ Błędy zewnętrzne

- burze, uderzenia pioruna
- terroryzm
- wiatry słoneczne (elektromagnetyczne lub burze geomagnetyczne)

## ■ Błędy planowania i projektowania

- niewystarczające wymiarowanie
- nieoptymalna topologia systemu
- nieprawidłowego ustawienia zabezpieczeń

## ■ Błędy operacyjne

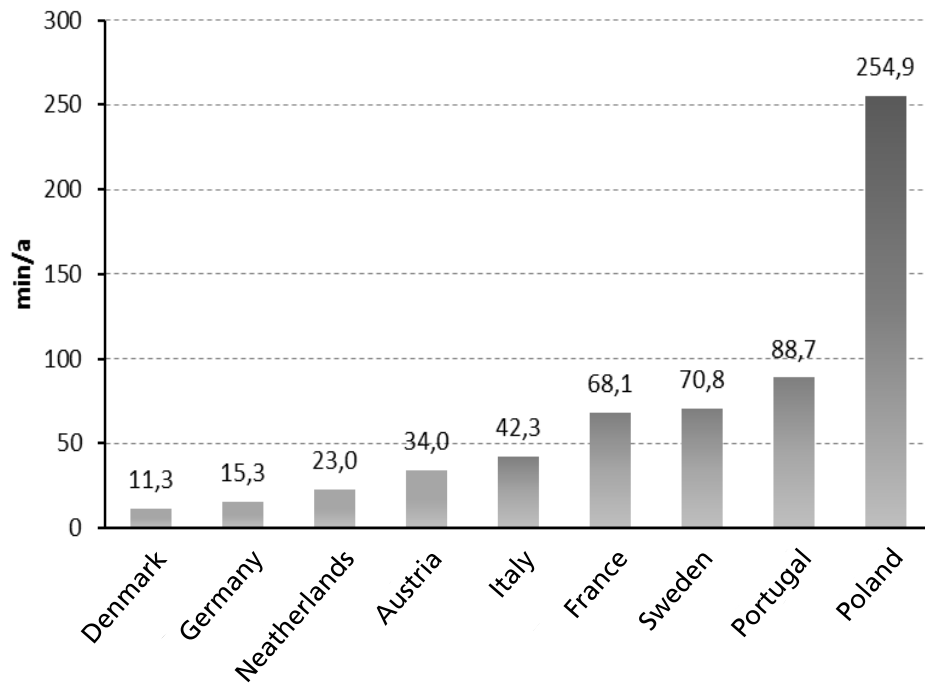
- przeciążone urządzenia
- zwarcia spowodowane niewłaściwą obsługą
- przepięcia łączeniowe
  - błędne decyzje w centrum kontroli



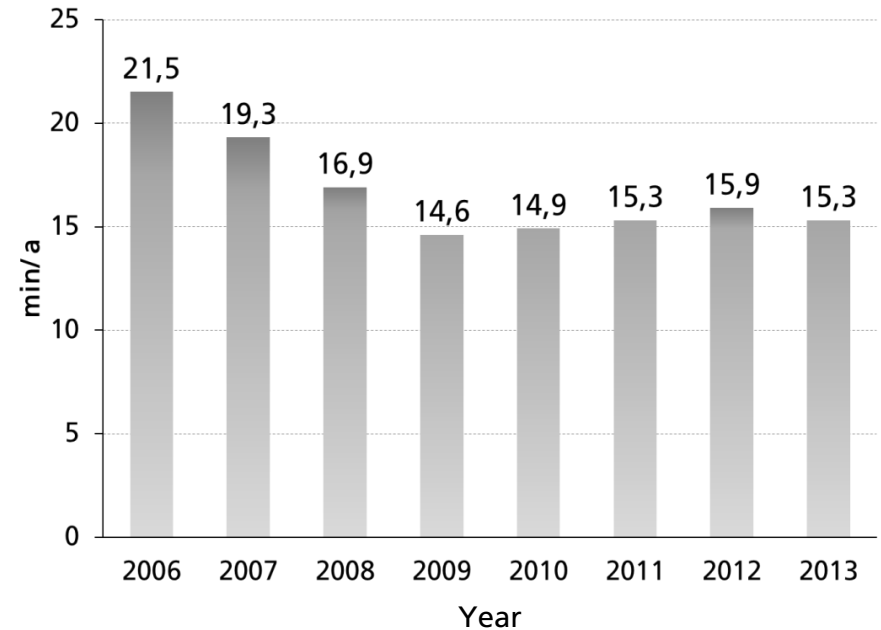


# Niezawodności zasilania - Statystyki

Niedostępność w EU w roku 2013 [1]



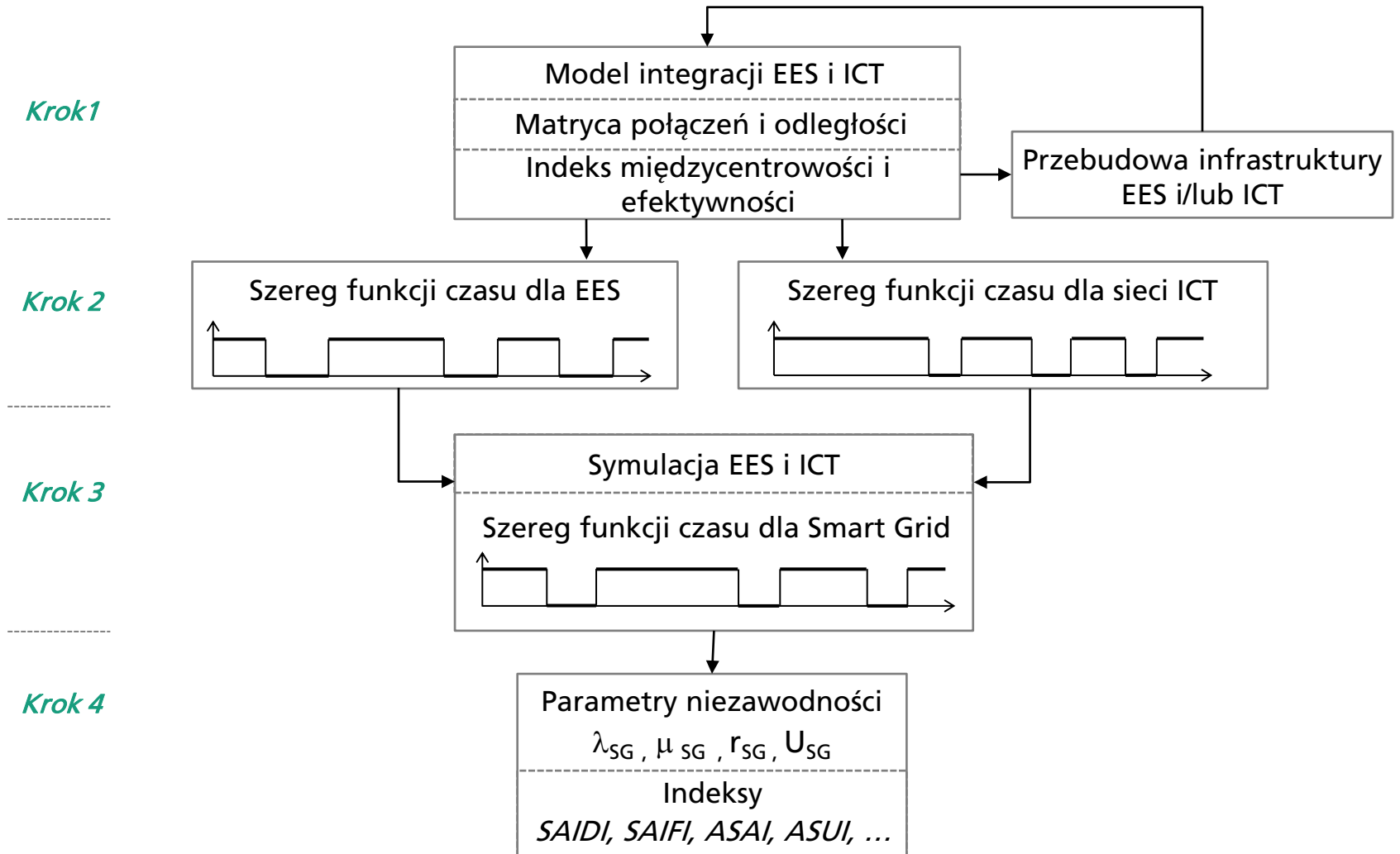
Niedostępność w Niemczech w latach 2006-2013 [1]



Parametr	Symbol	Jednostka	D in 2013
Częstotliwość przerw	$H_U$	[1/a]	0,47
Czas przerwy	$T_U$	[min]	32,59
Niedostępność	$Q_U$	[min/a]	15,32

$$H_U \cdot T_U = Q_U$$

# Czterokrokowy algorytm obliczania niezawodności SG

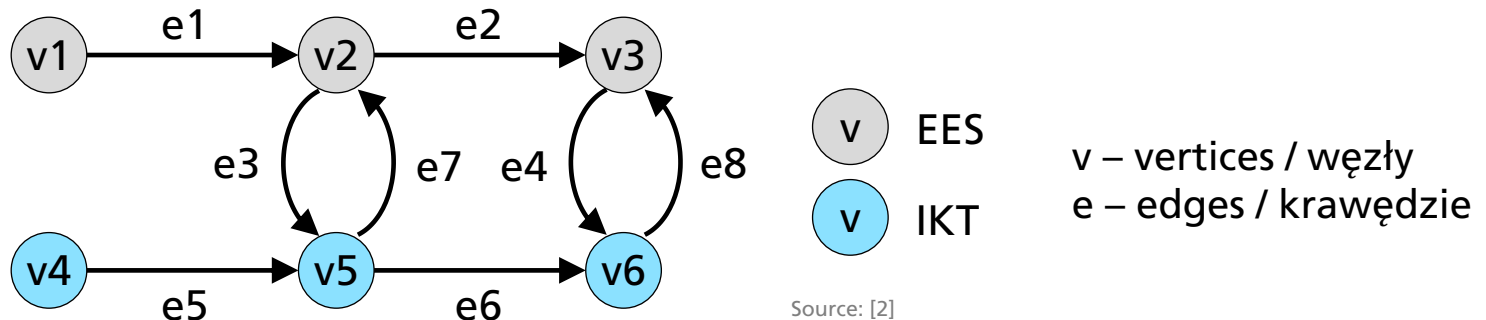


# Infrastruktury sprzężone – modelowanie zależności

## *Teoria Sieci Złożonej*

### *Krok 1*

- Węzły – elementy systemu takie jak węzły sieci, routery
- Krawędzie – połączenia lub związki między węzłami, np. linie energetyczne, połączenia komunikacyjne
- $G(V, E)$ , gdzie  $V \equiv \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ,  $E \equiv \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$



Rodzaje połączeń:

*Typ 1:* między dwoma węzłami elektrycznymi

*Typ 2:* między dwoma węzłami ICT

*Typ 3:* od węzła elektrycznego do węzła ICT

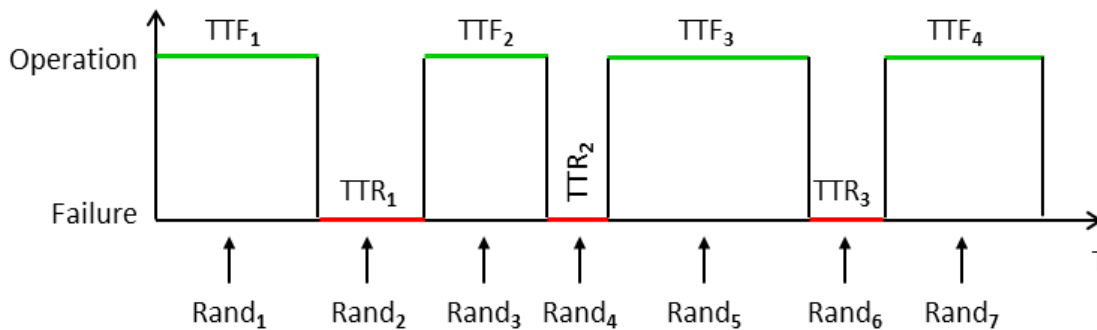
*Typ 4:* od węzła ICT do węzła elektrycznego

# Obliczanie niezawodności

## Krok2

■ Dostępność:  $A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{\sum[\text{czas działania}]}{\sum[\text{czas przestoju}] + \sum[\text{czas działania}]}$

■ Niedostępność:  $U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{\sum[\text{czas przestoju}]}{\sum[\text{czas przestoju}] + \sum[\text{czas działania}]}$



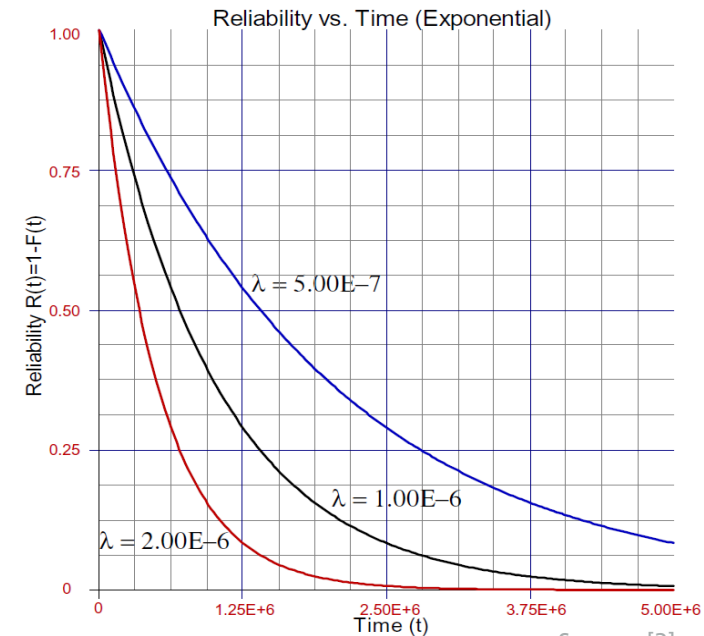
$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

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

R(t) – funkcja prawdopodobieństwa

$\lambda$  – oczekiwany wskaźnik awaryjności TTF - time to failure

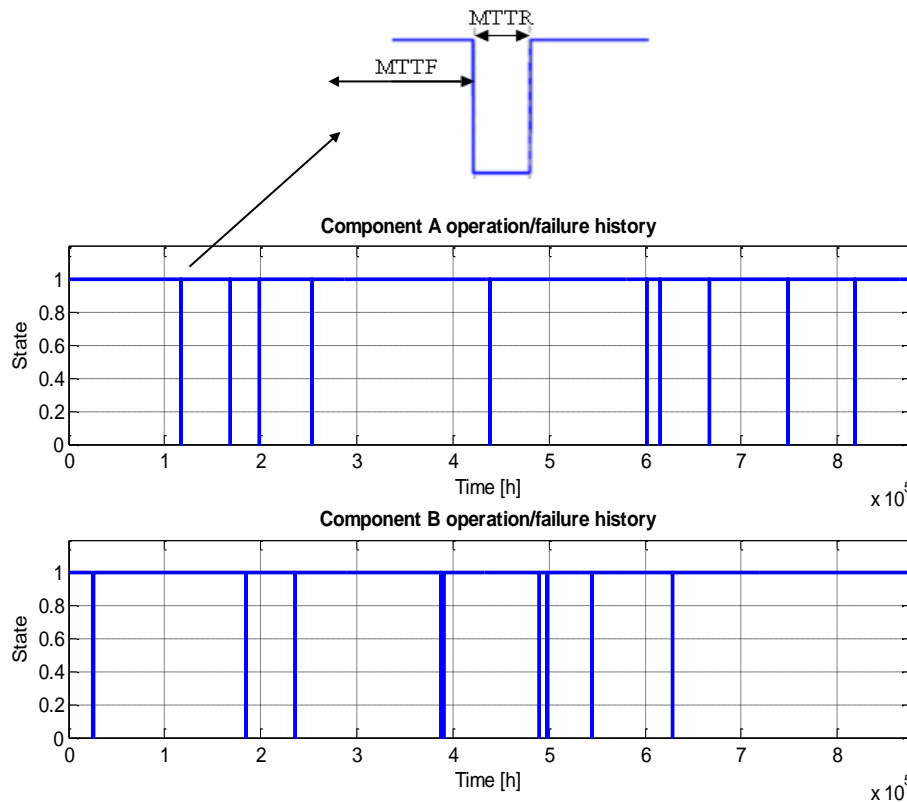
$\mu$  - oczekiwany wskaźnik naprawy TTR - time to repair



Source: [3]

# Numeryczna niezawodność komponentów ICT oraz EES

## Krok 2

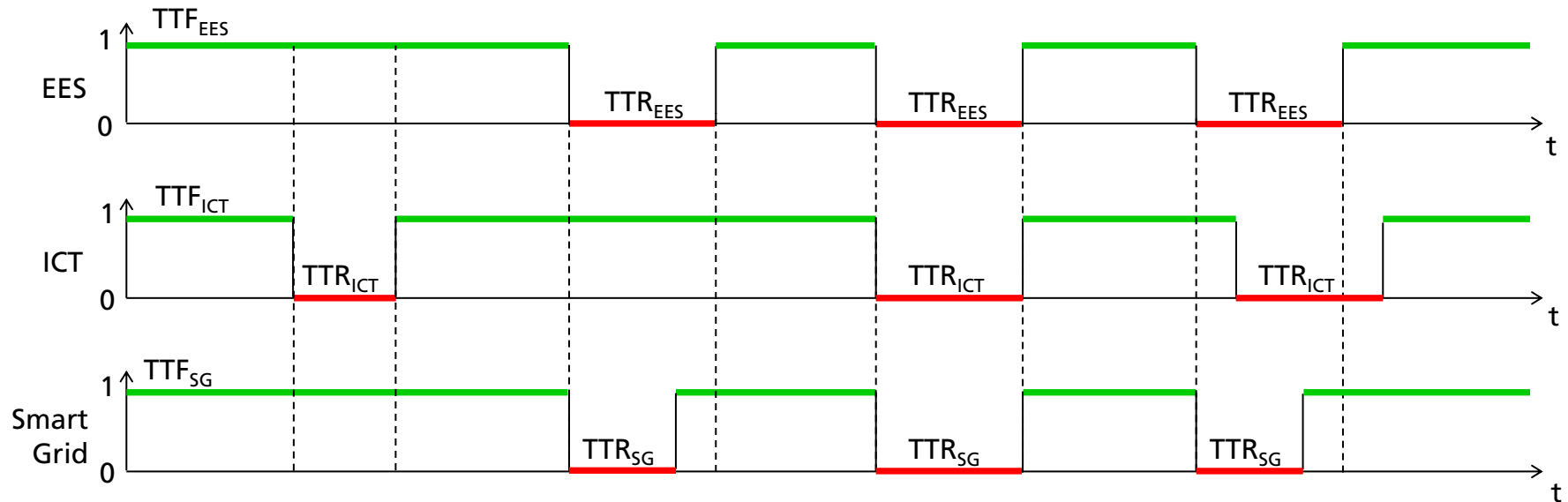


A [%]	U [%]	Źródło
99,8200	0,18	[4]
99,9940	0,0060	G650 Media
99,9997	0,0003	Cisco
99,9978	0,0022	HFC
99,7946	0,2054	[5]
99,9974	0,0026	[5]
99,9998	0,0002	[6]

MTTF - mean time to failure    MTTR - mean time to repair/replace    A - Availability    U - Unavailability

# Symulacja niezawodności - Monte Carlo

## Krok 3



Wskaźnik awaryjności

$$\lambda_{SG} = \frac{1}{MTTF_{SG}} \rightarrow TTF_{SG} = -\frac{1}{\lambda_{SG}} \ln(U_i)$$

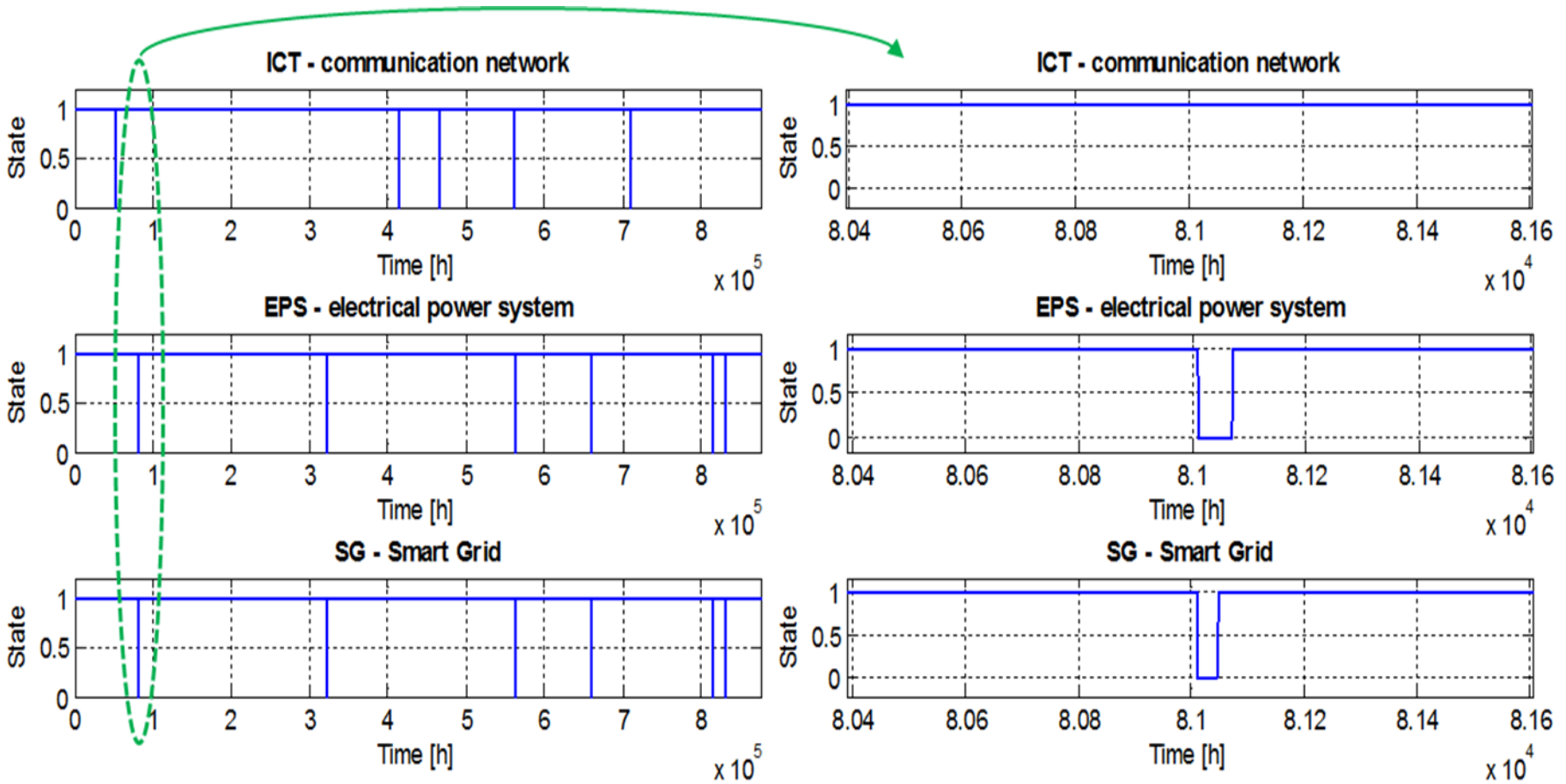
Wskaźnik naprawy

$$\mu_{SG} = \frac{1}{MTTR_{SG}} \rightarrow TTR_{SG} = -\frac{1}{\mu_{SG}} \ln(U_i)$$

$U_i$  – równomierny rozkład liczby losowej z zakresu między 0 i 1

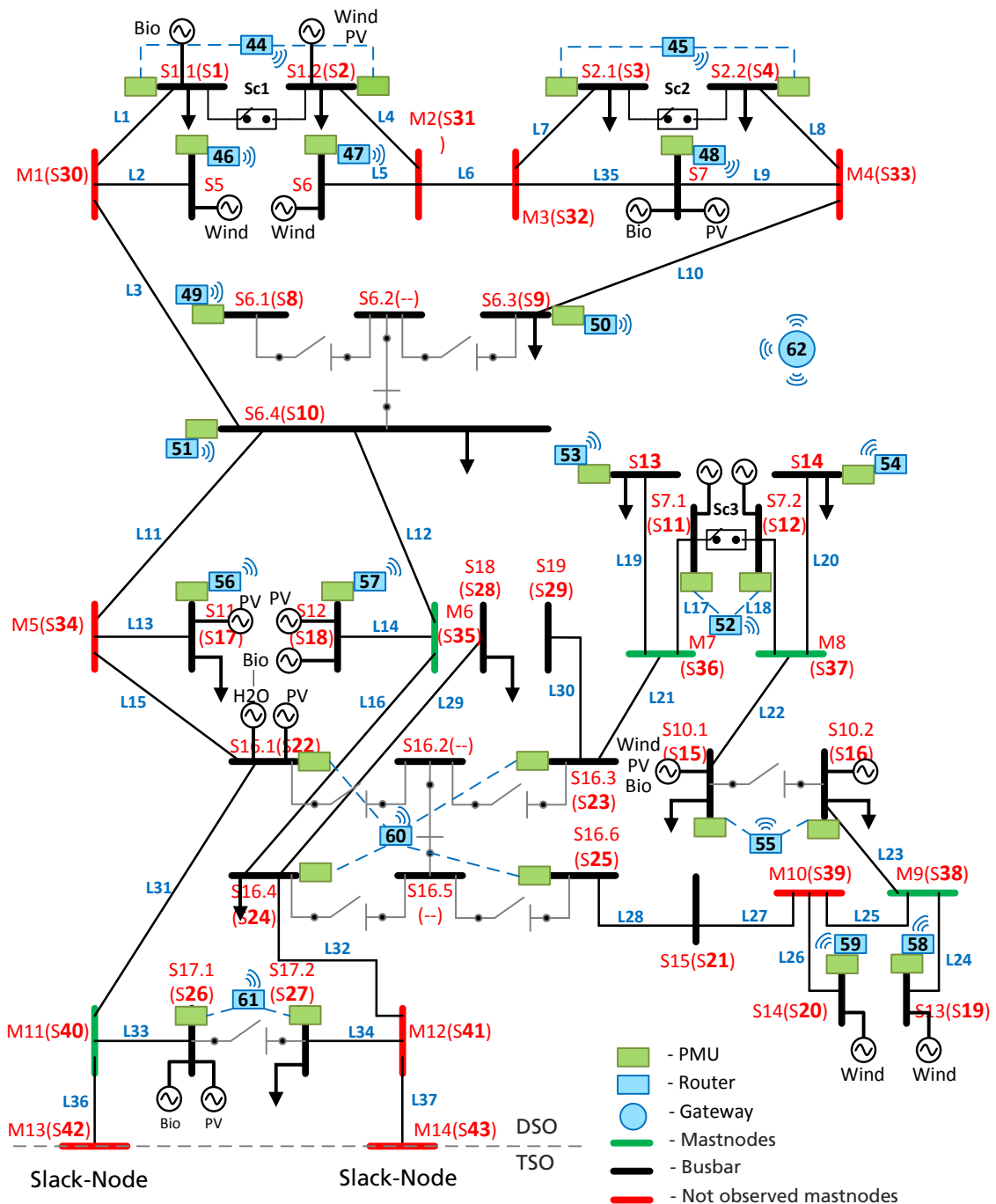
# Symulacja niezawodności - Monte Carlo

## Krok 3



# Obszar dystrybucji 110kV

- 43 węzły elektryczne,
- 37 linie
- Konceptcja ICT
  - 26 PMU,
  - 18 Router,
  - 18 PC,
  - 1 Gateway, baza danych
- Parametry wejściowe symulacji
  - Czas trwania T = 50 lat
  - Długość każdej sekwencji= 8760h
  - Uwzględnienie odległości między obciążeniem i lokalizacją uszkodzenia
  - Wpływ generacji OZE

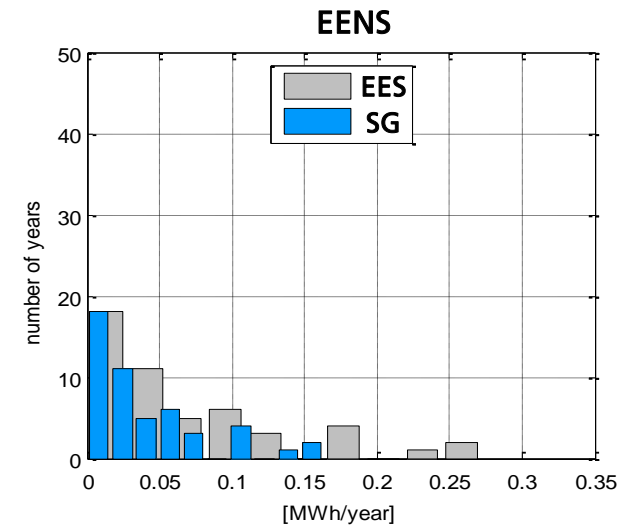
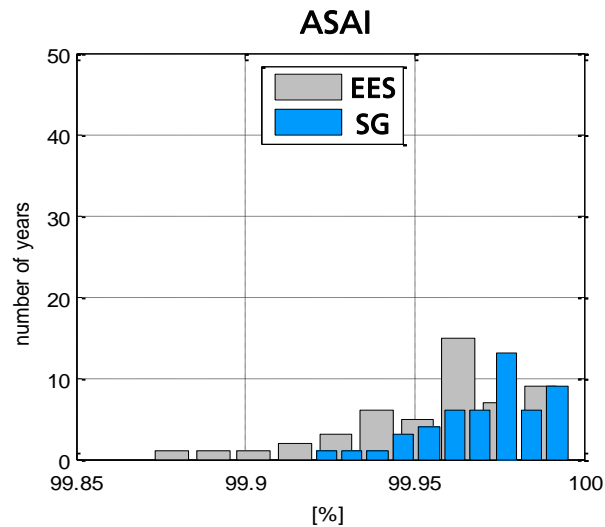
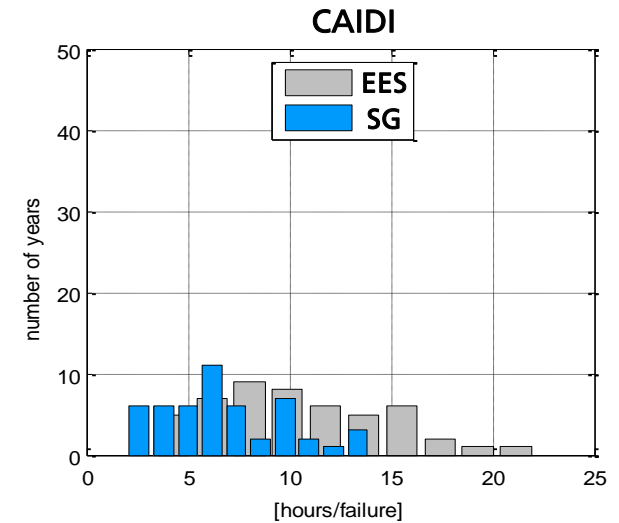
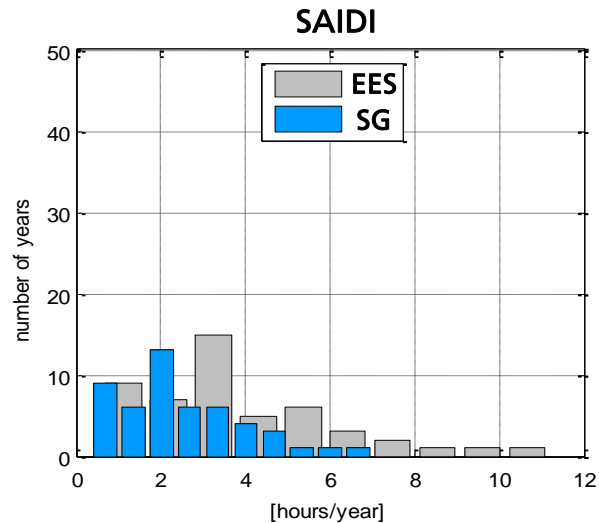




# Wyniki symulacji – sieć 43 węzłowa

## Krok 4

Index	EES	SG
SAIDI Std./Jahr	3.8580	2.4855
CAIDI Std./Ausf.	10.3903	6.7234
ASAI %	99.9560	99.9716
EENS MWh/Jahr	0.0675	0.0405



**SAIDI** - System average interruption duration index

**CAIDI** – Customer Average Interruption Duration Index

**ASAI** - Average system availability index

**EENS** - Expected energy not supplied

---

# Posumowanie i perspektywy

- Rozwój sieci elektroenergetycznych i zwiększone wykorzystanie ICT wymaga nowych metod planowania i obliczania niezawodności systemu
- Algorytm oceny niezawodności inteligentnych sieci
  - Poprawa niezawodności Smart Grid
- Perspektywy
  - Integracja sterowania i ochrony sieci inteligentnych
  - Systemy komunikacyjne o różnej jakości QoS
  - Integracja innych infrastruktur (gaz, ciepło)

---

# Dziękuję za uwagę!

Fraunhofer Institute for Factory  
Operation and Automation

**Dr. Bartłomiej Arendarski**

Project Manager

Process and Plant Engineering

Sandtorstr. 22  
39106 Magdeburg, Germany  
Phone +49 391 4090 – 145  
Fax +49 391 4090 – 370  
bartlomiej.arendarski@iff.  
fraunhofer.de  
www.iff.fraunhofer.de

Fraunhofer Institute for Factory  
Operation and Automation

**Dr. Przemyslaw Komarnicki**

Deputy Business Unit  
Manager

Process and Plant Engineering

Sandtorstr. 22  
39106 Magdeburg, Germany  
Phone +49 391 4090 – 373  
Fax +49 391 4090 – 93373  
komarn@iff.fraunhofer.de  
www.iff.fraunhofer.de

---

# Literatura

- [1] CEER Council of European Energy Regulators; Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply; 12 February 2015
- [2] J. Sanchez, R. Caire, N. HadjSaid, "ICT and Electric Power Systems Interdependencies Modeling", Internationaler ETG-Kongress in Berlin, 11.2013
- [3] Common Reliability Distributions, Alion Science and Technology, System Reliability Center, New York, 2001
- [4] P. Zhang, K. Chan, "Reliability Evaluation of Phasor Measurement Unit Using Monte Carlo Dynamic Fault Tree Method", IEEE Transactions On Smart Grid, Vol. 3, No.3, 09.2012
- [5] IEEE Std 493™-2007: IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems, New York, 2007
- [6] "Verfügbarkeit des Netzanschlusses von Kraftwerken" in Fachausschuss der DVG, 23.07.1980