

Bezpieczeństwo elektroenergetyczne i niezawodność zasilania

Wykład I



Bezpieczeństwo elektroenergetyczne i niezawodność zasilania - wykład

mgr inż. **Piotr Marchel**

GE pok. 206 kl. C

@-mail: marchelp@ee.pw.edu.pl

Strona www: <http://www.ee.pw.edu.pl/~marchelp/>

Tel: (22) 234 7684

Zasady zaliczania

Zaliczenie wykładu - sprawdzian zaliczeniowy:

część pisemna 20 pkt + część ustna 10 pkt

Zaliczenie wykładu - uzyskanie co najmniej **13** pkt.

Laboratorium: oceny pozytywne ze sprawozdań z ćwiczeń.

Zakres punktacji z laboratorium od 0 do 30 pkt;

Zaliczenie laboratorium – uzyskanie co najmniej **13** pkt.

Zaliczenie przedmiotu łącznie co najmniej **31** pkt.

Zaliczenie przedmiotu - punktowa skala ocen:

mniej niż 31 pkt – 2,0; 31-36,5 pkt – 3,0; 37-42,5 pkt – 3,5;

3 43-48,5 pkt – 4,0; 49-54,5 pkt – 4,5; 55-60 pkt – 5,0;



Laboratoria i projekt

Laboratoria (30 pkt):

6 ćwiczeń – 3 pkt za sprawozdanie + 12 zaliczenie pisemne

Terminy (co dwa tygodnie):

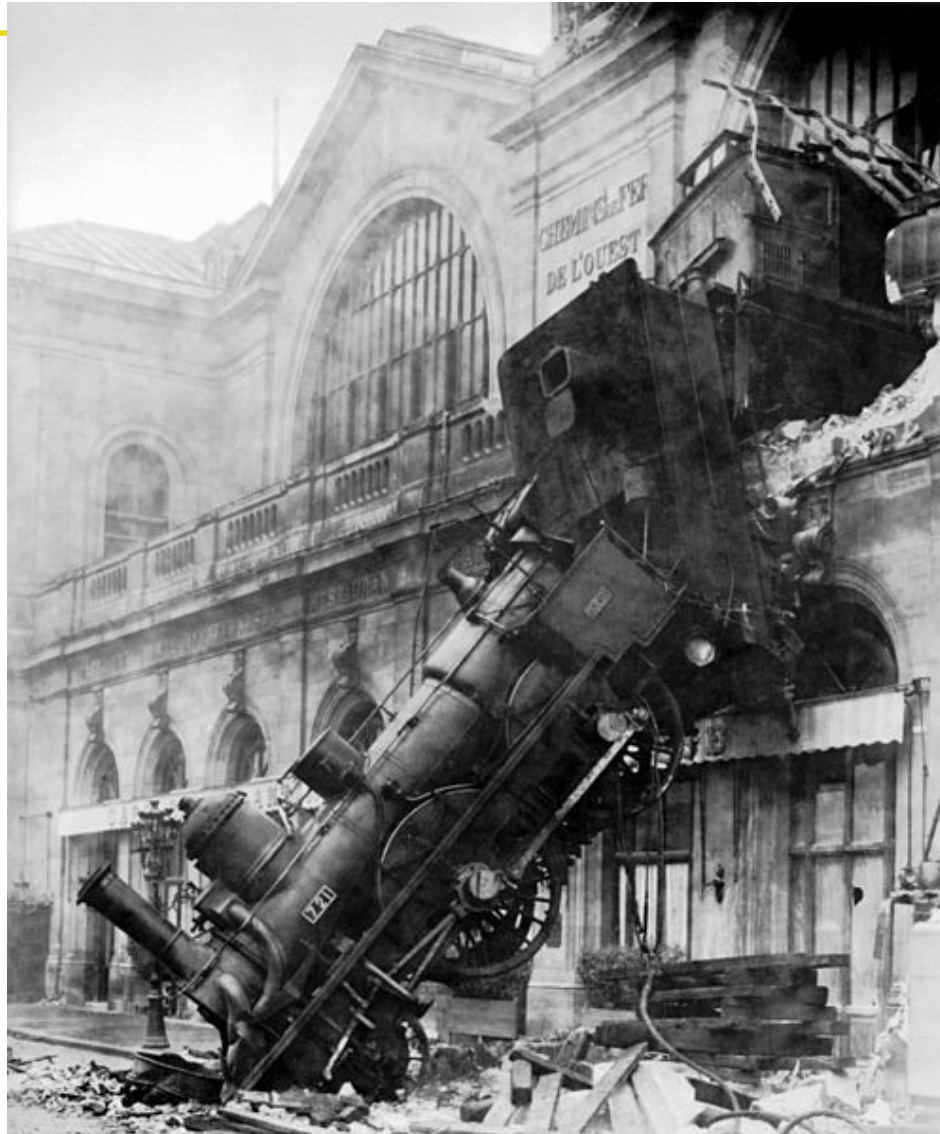
- poniedziałek 10.15 – gr. 2 (AEA) od 14 października
- poniedziałek 10.15 – gr. 5 (WUE) od 21 października
- poniedziałek 14.15 – gr. 3 (SSE) od 14 października
- poniedziałek 14.15 – gr. 4 (SSE) od 21 października

Projekt (co tydzień)

- czwartek 16.15 – gr. 5 (WUE) od 3 października



Historia teorii niezawodności



Historia teorii niezawodności



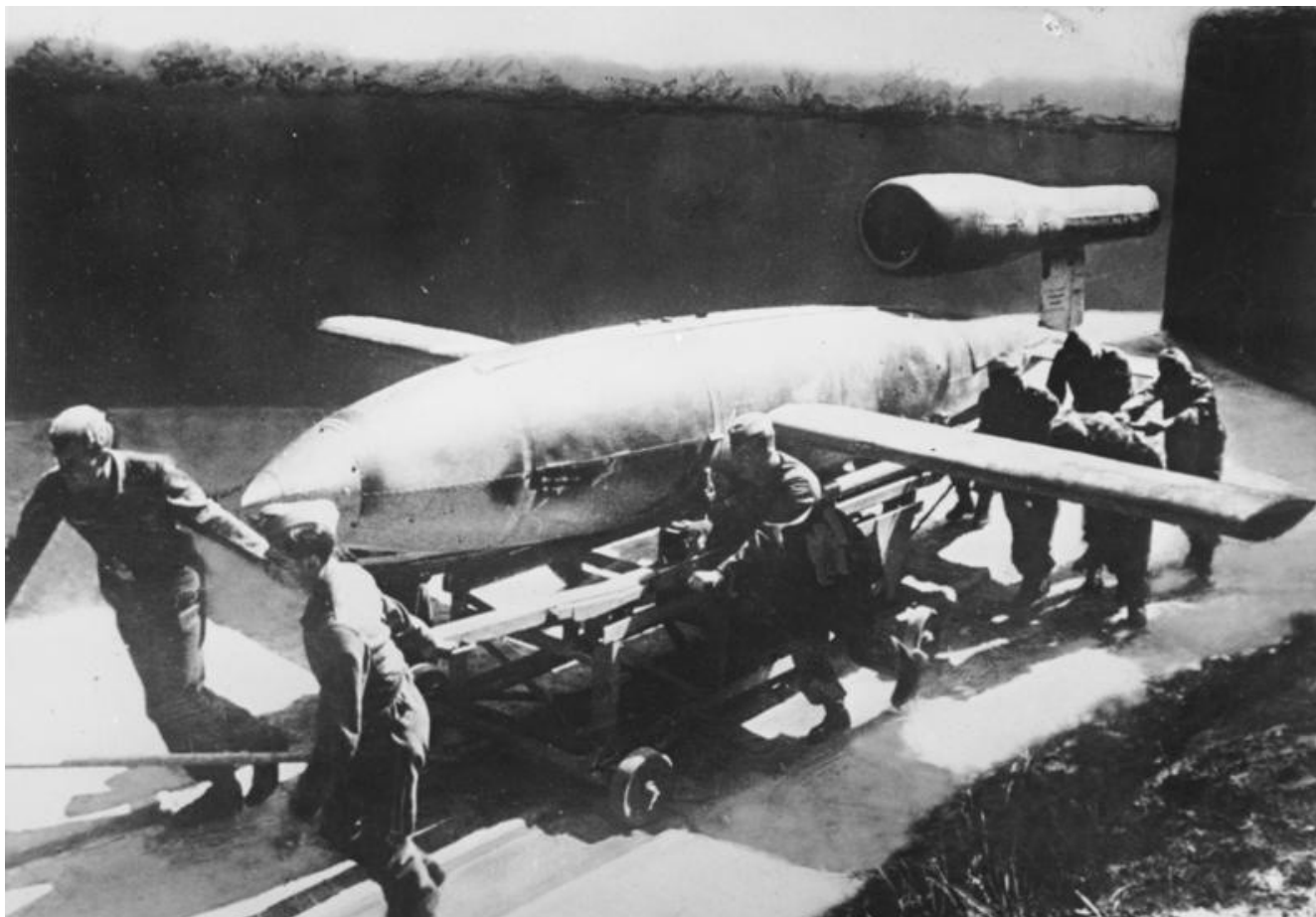
Historia teorii niezawodności

- **Teoria niezawodności jest stosunkowo młodą dziedziną –**
początki sięgają I Wojny Światowej
- **Problemy z funkcjonowaniem złożonych systemów**
- **1926 Peirce - teoria najślabszego ogniwa**



Historia teorii niezawodności

1944 - Eric Pieruschka – prawo Lussera



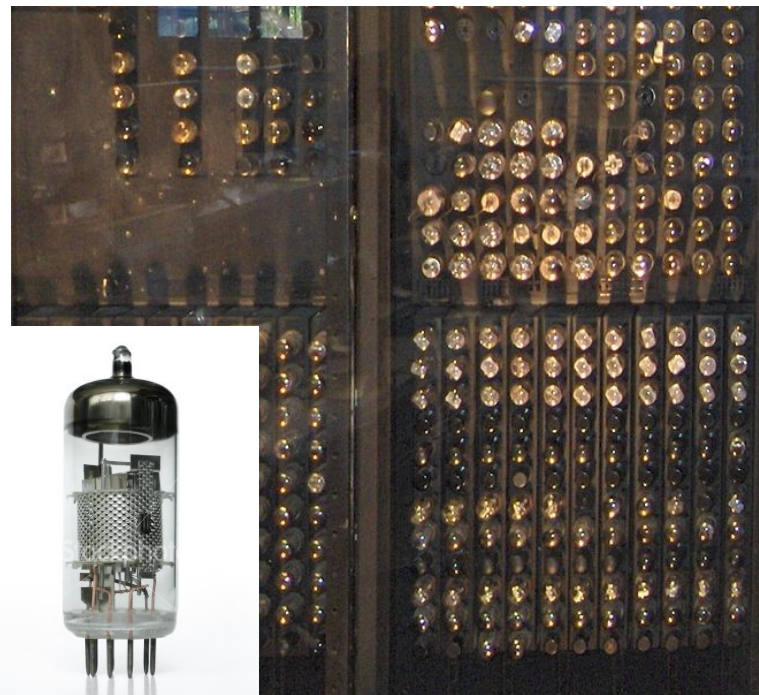
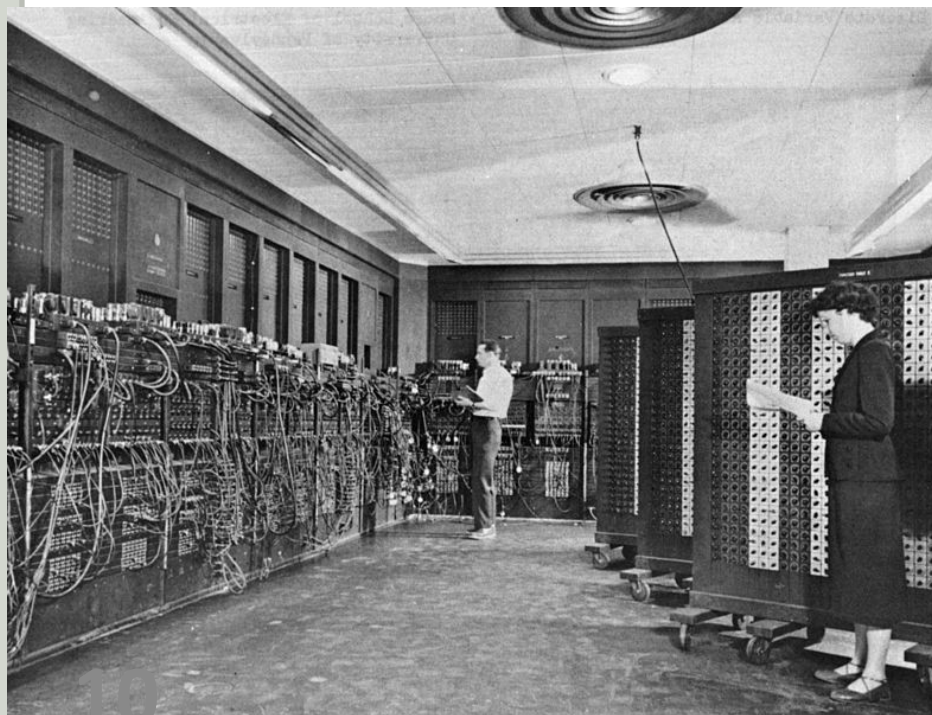
Historia teorii niezawodności

1944 - prawo Lussera

- niezawodność urządzenia jest znacznie niższa od niezawodności poszczególnych jego elementów i wyraża się iloczynem niezawodności poszczególnych elementów składowych

Historia teorii niezawodności

- dalszy rozwój teorii niezawodności po II WŚ w wyniku masowej produkcji wyrobów o skomplikowanej strukturze

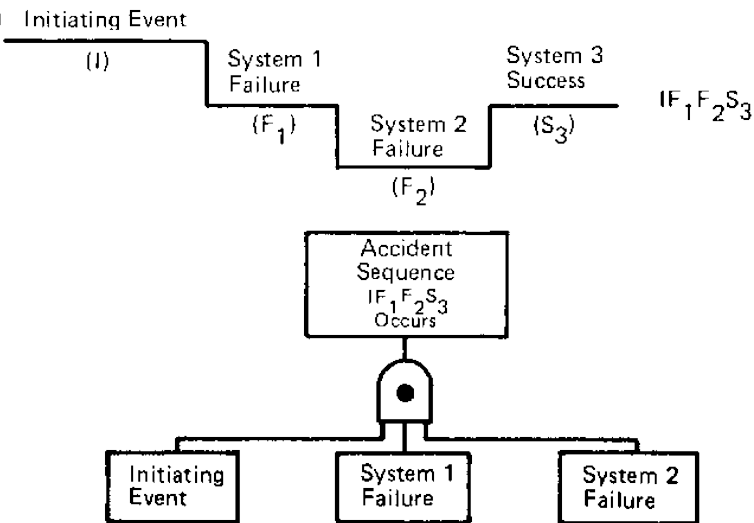


Historia teorii niezawodności

- do świadomości społecznej docierało, że lepiej stworzyć niezawodne urządzenie niż czekać na wystąpienie uszkodzenia i być zmuszonym do jego usunięcia
- **1961 koncepcja drzewa uszkodzeń**
- **1975 Norman C. Rasmussen**
 - raport o bezpieczeństwie EJ wykorzystujący metodę drzewa zdarzeń

Historia teorii niezawodności

TABLE 6-3 INDIVIDUAL RISK OF EARLY FATALITY BY VARIOUS CAUSES
(U.S. Population Average 1969)



Example 4. An Accident Sequence and the Associated Fault Tree Construction

Raport WASH 1400

Accident Type	Total Number for 1969	Approximate Individual Risk Early Fatality Probability/yr (a)
Motor Vehicle	55,791	3×10^{-4}
Falls	17,827	9×10^{-5}
Fires and Hot Substance	7,451	4×10^{-5}
Drowning	6,181	3×10^{-5}
Poison	4,516	2×10^{-5}
Firearms	2,309	1×10^{-5}
Machinery (1968)	2,054	1×10^{-5}
Water Transport	1,743	9×10^{-6}
Air Travel	1,778	9×10^{-6}
Falling Objects	1,271	6×10^{-6}
Electrocution	1,148	6×10^{-6}
Railway	884	4×10^{-6}
Lightning	160	5×10^{-7}
Tornadoes	118 (b)	4×10^{-7}
Hurricanes	90 (c)	4×10^{-7}
All Others	8,695	4×10^{-5}
All Accidents (from Table 6-1)	115,000	6×10^{-4}
Nuclear Accidents (100 reactors)	—	2×10^{-10} (d)

(a) Based on total U.S. population, except as noted.

(b) (1953-1971 avg.)

(c) (1901-1972 avg.)

(d) Based on a population at risk of 15×10^6 .

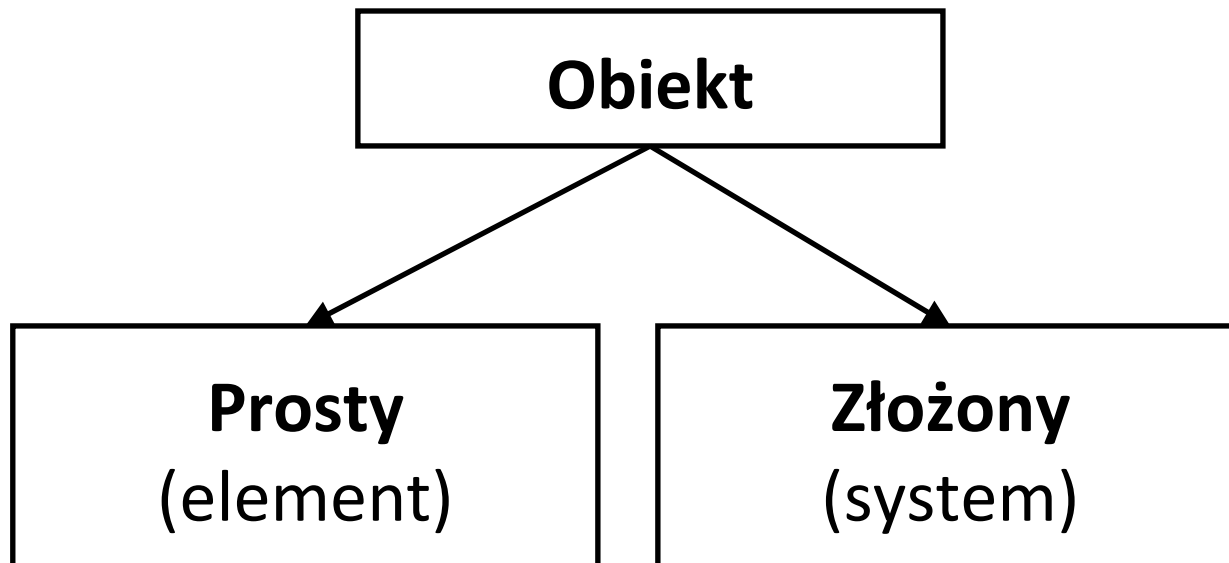


Historia teorii niezawodności



Pojęcia podstawowe

- **Obiekt** – pojęcie pierwotne:
 - niepodzielny element lub
 - zbiór elementów tworzących system.



Pojęcia podstawowe

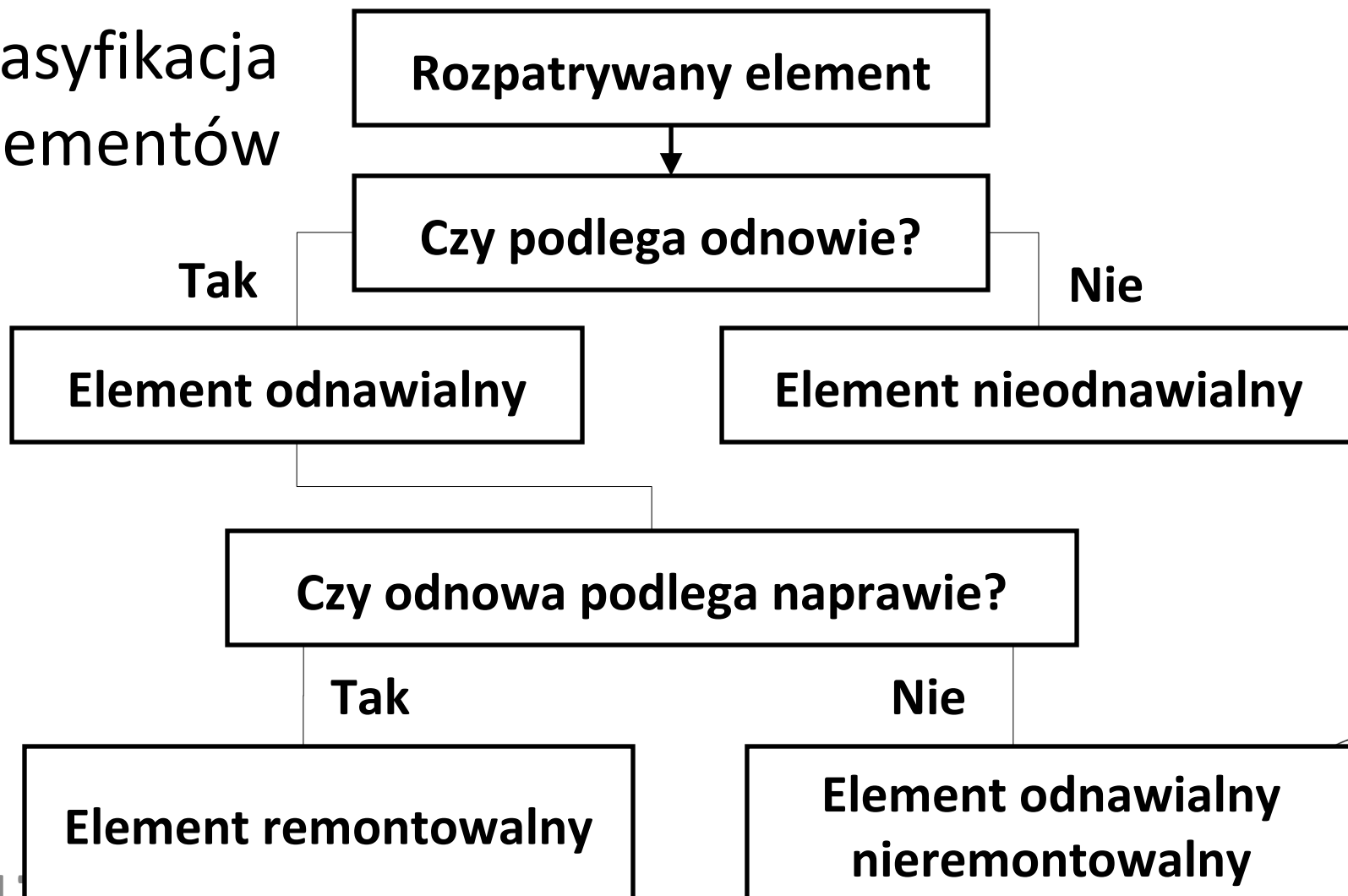
- **Element** jest to taki obiekt, który podczas analizy niezawodności jest traktowany jako niepodzielna całość.
- **System** jest to grupa niezależnych elementów, połączonych ze sobą w celu wykonywania określonego zadania i tworzących określoną strukturę niezawodnościową.

Pojęcia podstawowe

- **System elektroenergetyczny (SEE)**
 - zbiór urządzeń i instalacji
 - połączonych i współpracujących ze sobą
 - do: wytwarzania, przesyłania, rozdzielania i odbioru energii elektrycznej (czasami też ciepła)

Pojęcia podstawowe

klasyfikacja
elementów



Pojęcia podstawowe

- **Bezpieczeństwo energetyczne** - Ustawia z dnia 10 kwietnia 1997 Prawo energetyczne (Dz. U. Nr 54, poz. 348 z późniejszymi zmianami):
 - *“stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”*

Definicja powtórzona w *“Polityce energetycznej Polski do 2030 roku”*.

Pojęcia podstawowe

- **Zachowanie bezpieczeństwa energetycznego kraju** - zespół działań zmierzających do stworzenia takiego systemu prawno-ekonomicznego, który wymuszałby:
 - pewność dostaw,
 - konkurencyjność,
 - spełnienie wymogów ochrony środowiska.
- W takim ujęciu - kategoria **społeczno-ekonomiczna**.

Pojęcia podstawowe

- Można wyróżnić **bezpieczeństwa cząstkowe**, określone w odniesieniu do poszczególnych form czy nośników energii, np.:
 - bezpieczeństwo elektroenergetyczne,
 - bezpieczeństwo zaopatrzenia w ciepło itp.

Pojęcia podstawowe

- Ustawa Prawo energetyczne definiuje również:
 - **bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej**
 - zdolność systemu elektroenergetycznego do zapewnienia bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej oraz równoważenia dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię;

Pojęcia podstawowe

- **bezpieczeństwo pracy sieci elektroenergetycznej**
 - nieprzerwaną pracę sieci elektroenergetycznej, a także spełnianie wymagań w zakresie parametrów jakościowych energii elektrycznej i standardów jakościowych obsługi odbiorców, w tym dopuszczalnych przerw w dostawach energii elektrycznej odbiorcom końcowym, w możliwych do przewidzenia warunkach pracy tej sieci;

Pojęcia podstawowe

- **równoważenie dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię** – zaspokojenie możliwego do przewidzenia, bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na energię elektryczną i moc, bez konieczności podejmowania działań mających na celu wprowadzenie ograniczeń w jej dostarczaniu i poborze;

Pojęcia podstawowe

- **zagrożenie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej** - stan systemu elektroenergetycznego lub jego części, uniemożliwiający zapewnienie bezpieczeństwa pracy sieci elektroenergetycznej lub równoważenie dostaw energii elektrycznej z zapotrzebowaniem na tę energię.

Pojęcia podstawowe

- **Niezawodność** to pewna cecha obiektu lub systemu.
- **Niezawodność** to zdolność obiektu do pełnienia przewidzianych dla niego funkcji, czyli prawidłowego funkcjonowania w określonym czasie.
- Niezawodność może być utożsamiana z jedną z jej miar – najczęściej prawdopodobieństwem



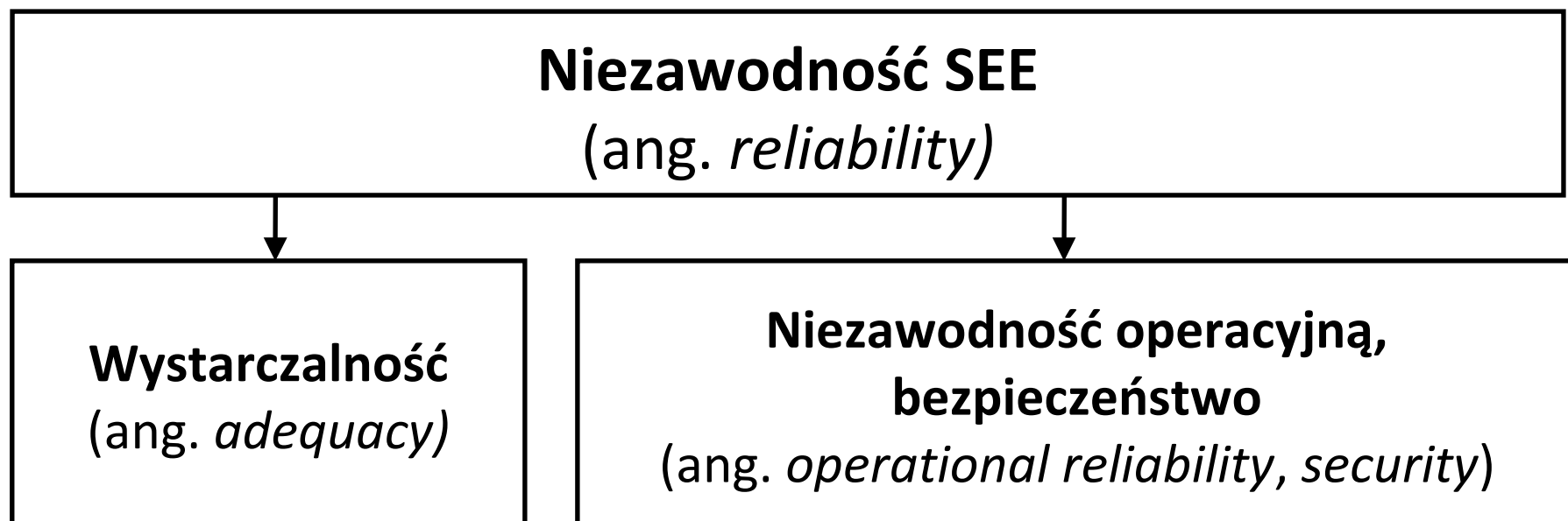
Pojęcia podstawowe

- **Niezawodność systemu elektroenergetycznego (SEE) wg NERC, UCTE i CIGRE:**
 - pojęcie ogólne obejmujące wszystkie miary zdolności systemu, wyrażone przez wskaźniki ilościowe, do dostarczania energii elektrycznej do wszystkich punktów zapotrzebowania w wymaganej ilości, przy zachowaniu akceptowalnych standardów jakości.
 - Niezawodność może być mierzona przez częstość czas trwania i poziom niekorzystnych zjawisk.



Pojęcia podstawowe

- Dwa aspekty niezawodności złożonego SEE:



Pojęcia podstawowe

- **Wystarczalność**

- zdolność systemu do pokrycia zagregowanego zapotrzebowania na moc i energię elektryczną odbiorców bez przekroczenia dopuszczalnych obciążalności elementów oraz poziomów napięć, biorąc pod uwagę planowane i nieplanowane postoje (wyłączenia, odstawienia) elementów.

Pojęcia podstawowe

- **Niezawodność operacyjna (bezpieczeństwo)**
 - zdolność systemu do zachowania integralności i przeciw-stawiania się nagłym zakłóceniom, jak zwarcia lub nieoczekiwane wypadnięcia z pracy elementów lub zmiany obciążenia systemu, wraz z ograniczeniami operacyjnymi.

Pojęcia podstawowe

"w obecnym, konkurencyjnym otoczeniu, niezawodna dostawa energii elektrycznej oznacza jej dostarczanie do punktów przyłączenia odbiorców w postaci odpowiedniej do zasilania urządzeń elektrycznych odbiorców i realizacji u nich procesów technologicznych, zgodnie z wymaganiami eksploatacyjnymi".

- Takie ujęcie obejmuje:
 - tradycyjne pojęcie niezawodności dostawy,
 - pojęcie jakości energii elektrycznej.
- Właściwe jest zatem mówienie o **jakości**:
 - dostawy energii elektrycznej, zasilania energią elektryczną, zaopatrywania odbiorców w energię elektryczną.

Pojęcia podstawowe

- Problem jakości zasilania odbiorców w energię elektryczną można podzielić na:
 - Jakość dostarczanej energii elektrycznej (jakość napięcia).
 - Niezawodność dostawy energii elektrycznej (niezawodność zasilania).
 - Jakość obsługi odbiorcy (klienta).
- O jakości dostarczanej energii elektrycznej oraz o niezawodności jej dostawy w dużej mierze decyduje niezawodność systemu elektroenergetycznego (SEE).

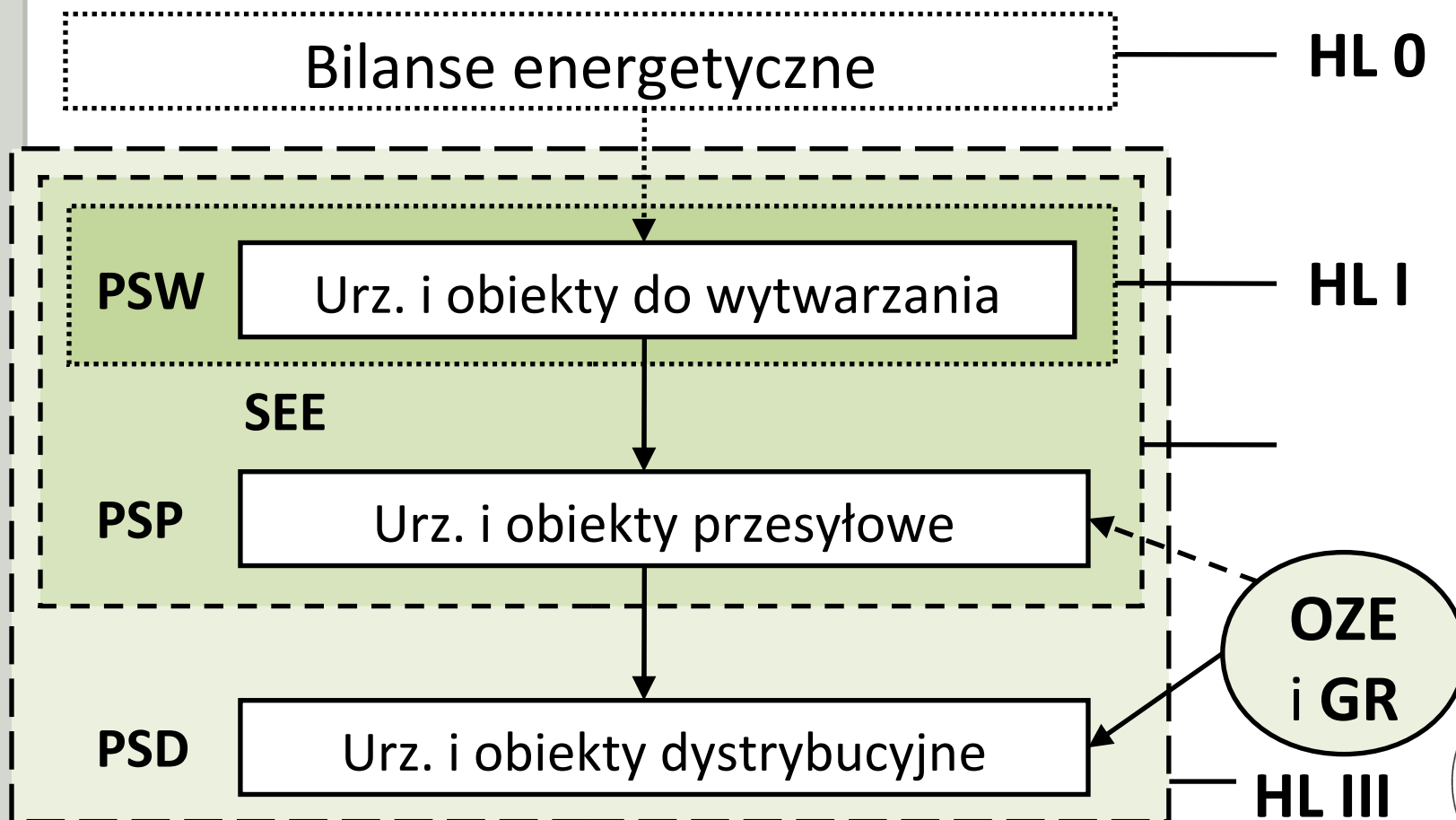


Ocena niezawodności SEE

- **Niezawodność systemu elektroenergetycznego**
zdolność SEE do zapewnienia zasilania odbiorców energią elektryczną o odpowiedniej jakości.
- Zwykle analizuje się niezależnie niezawodność podsystemów, składających się na SEE:
 - wytwórczego, przesyłowego, dystrybucyjnegoa zatem niezawodność realizacji pojedynczej funkcji:
 - wytwarzania, przesyłu, zasilania konkretnych odbiorców.

Ocena niezawodności SEE

- Dekompozycja i poziomy hierarchiczne SEE



Ocena niezawodności SEE

- **Poziom HL 0**

- Odnosi się do całego rozpatrywanego obszaru i odzwierciedla dostępność zasobów i źródeł energii w relacji do zapotrzebowania. Analizy wykonywane na tym poziomie pozwalają na ocenę, z reguły dla dłuższego horyzontu czasowego, możliwości zrównoważenia bilansu energetycznego. Uwzględnia się tutaj lokalne zasoby energetyczne i ograniczenia ich pozyskiwania oraz możliwości i uwarunkowania importu. Efektem analiz na tym poziomie jest ocena **bezpieczeństwa energetycznego** kraju lub obszaru.

Ocena niezawodności SEE

- **Poziom HL I**

- Tożsamy z pierwszą strefą funkcjonalną SEE - z systemem wytwórczym. Rozpatruje się niezawodność tzw. uproszczonego SEE, w którym wszystkie źródła i odbiorniki są przyłączone do jednej szyny zbiorczej. System o silnych powiązaniach - sieć w warunkach normalnych i remontowych nie wprowadza ograniczenia dla wykorzystania mocy dyspozycyjnej węzłów wytwórczych do zasilania węzłów odbiorczych. Niezawodność takiego systemu - niezawodność wytwarzania energii elektrycznej w SEE, rozumiana jako gotowość elektrowni do pokrywania obciążeń (*adequacy*). Czasami uwzględnia się wymianę międzysystemową.

Ocena niezawodności SEE

- **Poziom HL II**

- Model: zdolność wytwórcza - obciążenie należy rozbudować o sieć przesyłową - zdolność przesyłania wytworzonej mocy i energii. Obliczane są wskaźniki niezawodności dwóch typów:
 - wskaźniki dla konkretnego węzła obciążenia
 - wskaźniki "systemowe" - dla całego systemu

Nie są konkurencyjne, lecz komplementarne. Wskaźniki "systemowe" dają ocenę całościową, wskaźniki dla konkretnego węzła obciążenia stanowią miarę niezawodności systemu z punktu widzenia tego węzła, a także dostarczają informacji wyjściowej dla analizy na następnym poziomie hierarchicznym HL III.



Ocena niezawodności SEE

- **Poziom HL III**

- Analiza niezawodności SEE na tym poziomie stanowi najbardziej złożony problem. Wymaga uwzględnienia wszystkich trzech stref funkcjonalnych systemu. Dlatego strefa funkcjonalna dystrybucji jest zazwyczaj rozpatrywana oddzielnie a wskaźnik poziomu HL III można wyznaczyć wykorzystując wskaźniki obliczone na poziomie HL II jako dane wejściowe.
- Rezultatem ostatecznym są wskaźniki dla węzłów odbiorczych.

Wskaźniki niezawodności

- Najczęściej stosowane wskaźniki niezawodności SEE na poziomie **HL I**:
 - **LOLP** (Loss of Load Probability) - prawdopodobieństwo niepokrycia zapotrzebowania,
 - **LOLE** (Loss of Load Expectation) - oczekiwany czas niepokrycia zapotrzebowania,
 - **EENS / LOEE / EUE** (Expected Energy Not Supplied / Loss of Energy Expectation / Expected Unserved Energy) - oczekiwana energia niedostarczona,
 - **F&D** (Frequency & Duration) – wskaźniki częstości i czasu trwania stanów z deficytem mocy,
 - **EIR** (Energy Index of Reliability) – wskaźnik zapewnienia energii – stosunek energii dostarczonej do zapotrzebowanej.

Wskaźniki niezawodności

- Najpopularniejszy spośród wskaźników, mimo niedostatków, najstarszy i najbardziej podstawowy wskaźnik - **LOLP**.
- Wykorzystywany przy:
 - obliczaniu kosztów krańcowych
 - przy stanowieniu opartych na kosztach krańcowych taryf energii elektrycznej.
- LOLP był również elementem ustalania ceny zakupu energii elektrycznej od wytwórców w pool'u Anglii i Walii. Przewidywano jego wykorzystanie w rozwiązaniach krajowego systemowego ofertowego rynku energii elektrycznej – SOREE.

Wskaźniki niezawodności

- Wskaźniki niezawodności SEE na poziomie **HL II**:
 - wskaźniki dla konkretnego węzła obciążenia
 - wskaźniki "systemowe" - dla całego systemu (na tym poziomie hierarchicznym).
- **Wskaźniki** obliczane w oparciu o dane **z przeszłości** dotyczą: niedyspozycyjności systemu (unavailability), niedostarczonej energii, liczby zdarzeń, czasu trwania (liczby godzin) przerw zasilania, liczby wyjść napięcia poza ograniczenia, liczby wyjść częstotliwości poza ograniczenia. Parametry te są "prawdziwymi, pełnymi" wskaźnikami niezawodności - dotyczą zarówno wystarczalności jak i bezpieczeństwa SEE



Wskaźniki niezawodności

- Wskaźniki systemowe, z przeszłości i prognozowane, są niezmiernie ważne w czasie podejmowania decyzji dotyczących całego SEE.
- Wskaźniki systemowe nie są właściwe dla zidentyfikowania efektów indywidualnych działań wzmacniających system, np. dodania linii pomiędzy węzłami. Jest to szczególnie ważne dla dużych systemów istniejących w praktyce.
Zmiana wartości wskaźników, będąca rezultatem poszczególnych działań, jest bardzo mała w porównaniu z innymi zmianami zachodzącymi w całym systemie.
- Wskaźniki systemowe mogą być niewrażliwe na takie zmiany.

Wskaźniki niezawodności

- Pojedyncze działanie dla wzmocnienia sieci przesyłowej jest skierowane głównie na polepszenie warunków w danym węźle odbiorczym. Pożądana znajomość zbioru wskaźników "przed" i "po" tym wydarzeniu (działaniu wzmacniającym). Obiektywny i efektywny pomiar tylko za pomocą wskaźników niezawodności dla węzła (punktu) odbiorczego.
- Dla systemu dystrybucyjnego (**poziom HL III**) obliczanymi wskaźnikami niezawodności są zwykle: oczekiwana liczba zakłóceń (przerw w zasilaniu), średni czas trwania zakłócenia, roczna niedyspozycyjność (wskaźnik nieciągłości zasilania) węzła odbiorczego. Można obliczyć wartość oczekiwaną odłączonej mocy lub niedostarczonej energii.

Wskaźniki niezawodności

- W międzynarodowej praktyce regulacyjnej używanych jest kilka wskaźników oceny ciągłości dostaw energii elektrycznej. Do najczęściej stosowanych należą:
 1. Liczba wyłączeń odbiorców w ciągu roku
 - **CI, SAIFI**
 1. Długość okresu, w którym w danym roku nie była dostarczana energia elektryczna
 - **CML, SAIDI, TIEPI.**

Wskaźniki niezawodności

- **CI (Customer Interruption)**

liczba przerw w roku w przeliczeniu na odbiorcę lub odpowiednik, stosunek liczby wyłączeń odbiorców w ciągu roku do liczby tych odbiorców.

- **SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)**

systemowy wskaźnik średniej liczby przerw na odbiorcę, iloraz liczby wszystkich przerw nieplanowanych w ciągu roku i liczby odbiorców przyłączonych do sieci. Liczba nieplanowanych przerw w zasilaniu, jakiej może oczekiwać odbiorca w ciągu roku. Jeżeli nie ustalono inaczej, SAIFI nie obejmuje krótkich przerw o czasie trwania poniżej

443 (lub 1) minut.



Wskaźniki niezawodności

- **CML (Customer Minutes Lost)**

wskaźnik określający skumulowany roczny czas trwania przerw w przeliczeniu na odbiorcę, stosunek rocznego czasu trwania przerw w zasilaniu (w min.) do liczby odbiorców.

- **SAIDI (System Average Interruption Duration Index)**

systemowy wskaźnik średniego rocznego czasu trwania przerw, roczna suma czasu trwania wszystkich przerw (w min.), podzielona przez całkowitą liczbę odbiorców przyłączonych do sieci. Całkowity czas trwania przerw w zasilaniu (w min.) jakiego może się spodziewać odbiorca w ciągu roku. W Wielkiej Brytanii analogiczny wskaźnik nazywany

45 „dyspozycyjność – availability”.



Wskaźniki niezawodności

- **CML (Customer Minutes Lost)**

wskaźnik określający skumulowany roczny czas trwania przerw w przeliczeniu na odbiorcę, stosunek rocznego czasu trwania przerw w zasilaniu (w min.) do liczby odbiorców.

- **SAIDI (System Average Interruption Duration Index)**

systemowy wskaźnik średniego rocznego czasu trwania przerw, roczna suma czasu trwania wszystkich przerw (w min.), podzielona przez całkowitą liczbę odbiorców przyłączonych do sieci. Całkowity czas trwania przerw w zasilaniu (w min.) jakiego może się spodziewać odbiorca w ciągu roku. W Wielkiej Brytanii analogiczny wskaźnik nazywany

46 „dyspozycyjność – availability”.



Wskaźniki niezawodności

- **TIEPI (Tiempo de interrupcion equivalente de la potencia instalada)**

liczba godzin przerw w roku ważona mocą zainstalowaną transformatora, przeznaczonego do zasilania odbiorcy na średnim napięciu, w Hiszpanii – mocą zamówioną przez odbiorcę na średnim napięciu.

Wskaźniki niezawodności

- Pozostałe parametry niezawodnościowe wg IEEE (Standard Definition for Reliability Statistics):
 - **CAIFI (Customer Average Interruption Frequency Index)** – średnia liczba przerw na dotkniętego wyłączeniem odbiorcę, iloraz liczby wszystkich przerw nieplanowanych w ciągu roku do liczby wyłączonych odbiorców.
 - **CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)** – średni czas trwania przerwy. Średni czas potrzebny do przywrócenia zasilania odbiorcy w przypadku wystąpienia przerw nieplanowanych. Suma czasu trwania wszystkich przerw w zasilaniu odbiorców (w min.) podzielona przez liczbę wszystkich wyłączeń odbiorców. CAIDI nie obejmuje krótkich przerw <3 (lub 1) min.

Wskaźniki niezawodności

- **ASAI (Average Service Availability Index)** – wskaźnik dyspozycyjności zasilania, stosunek czasu w ciągu roku (w odb.-godzinach), gdy zasilanie było dostępne do czasu gdy było ono zapotrzebowane.
- **ASUI (Average Service Unavailability Index)** - wskaźnik niedyspozycyjności zasilania, stosunek czasu w ciągu roku (w odb.-godzinach), gdy zasilanie było niedostępne do czasu gdy było ono zapotrzebowane.
- **AENS (Average Energy Not Supplied)** – średnia roczna ilość energii niedostarczonej na odbiorcę, stosunek energii niedostarczonej odbiorcom w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci.

Wskaźniki niezawodności

- **MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index)** – wskaźnik średniej liczby przerw chwilowych dla odbiorcy, średnia w ciągu roku liczba krótkich przerw w zasilaniu o czasie trwania poniżej 3 min. lub poniżej 1 min., jakiej może spodziewać się odbiorca. Jest obliczany jako stosunek liczby wszystkich przerw krótkich w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci.

Metody oceny niezawodności SEE

- W metodach oceny niezawodności (prognozowanej) systemu dominują dwa główne podejścia:
 - **analityczne** oraz
 - **symulacyjne**
- Są one równie często używane przy ocenie wystarczalności (adequacy) systemów elektroenergetycznych.

Metody oceny niezawodności SEE

- **Metody analityczne**

- obliczanie wskaźników niezawodności z odpowiedniego modelu matematycznego. Zbiór określanych wskaźników jest pochodną przyjętego modelu i zbioru danych wejściowych. Zasadniczy problem to przyjmowane założenia upraszczające, których efekt jest często nieznany.

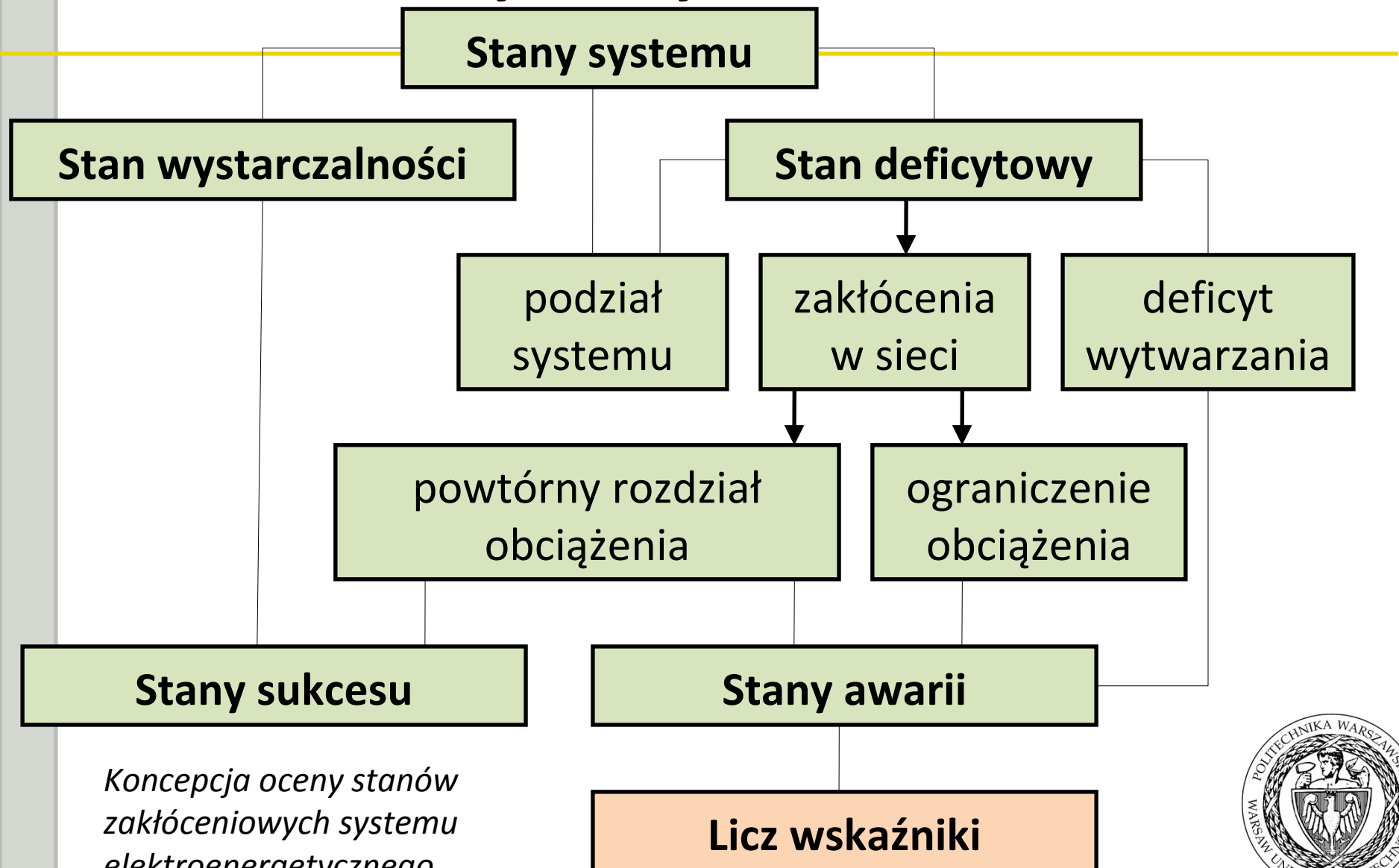
Metody oceny niezawodności SEE

- **Metody symulacyjne (Monte Carlo),**
 - ocena wskaźników niezawodności dzięki symulacji losowego zachowania się systemu. Można wyróżnić dwie grupy metod symulacyjnych: niesekwencyjne i sekwencyjne.

Metody oceny niezawodności SEE

- W obu podejściach na poziomach HL II i HL III systemu elektroenergetycznego ocenia się wystarczalność systemu. wykorzystując rozptyw mocy do identyfikacji stanów deficytowych i oceny efektów działań zaradczych (restytucyjnych). Pozwala to określić głębokość stanów deficytowych systemu. Na poziomie HL I nie uwzględnia się zakłóceń w sieci elektroenergetycznej. Identyfikacja stanów deficytowych systemu odbywa się bezpośrednio – bez liczenia rozptywu mocy.

Metody oceny niezawodności



*Koncepcja oceny stanów
zakłóceń systemu
elektroenergetycznego*



Metody oceny niezawodności SEE

- Do obliczania rozptywu mocy są stosowane modele transportowe, metody rozptywu mocy prądu stałego, rzadziej metody rozptywu mocy prądu przemiennego.

Modelu prądu przemiennego praktycznie nie stosuje się w podejściu symulacyjnym z powodu długiego czasu obliczeń komputerowych. Jest to ograniczenie praktyczne a nie teoretyczne. Jeśli jednak ocenia się wyjście mocy biernej poza limity lub napięcia poza ograniczenia niezbędne staje się wykorzystanie metody rozptywu mocy prądu przemiennego.



Metody oceny niezawodności SEE

- Jeśli chodzi o odstawienia (wyłączenia) elementów SEE to najczęściej są modelowane:
 - **Wyłączenia niezależne (independent outages).**
 - **Wyłączenia zależne (dependent outages).**

Zależą one od wystąpienia jednego lub więcej innych odstawień. Przykładem jest wyłączenie jednego toru linii dwutorowej następujące po wyłączeniu drugiego toru z powodu przeciążenia. Zdarzenie to jest jednym z tych, które mogą spowodować kaskadowy (lawinowy) rozwój awarii, problemy związane z bezpieczeństwem. Najczęściej wyłączenia zależne są bardzo bliskie elektrycznie.

Metody oceny niezawodności SEE

- **Wyłączenia mające wspólną przyczynę (common mode outages).**

Jest zdarzeniem mającym pojedynczą przyczynę zewnętrzną, dającą w efekcie niezadziałanie (awarię) wielu (dwóch lub więcej) urządzeń, przy czym efekty te nie są konsekwencją samych siebie. Przykładem jest zawalenie się słupa linii dwutorowej.

- **Wyłączenia z przyczyn powstałych w stacji (station originated outages).**

Dwie lub więcej linie przesyłowe i/lub jednostki wytwórcze mogą być wyłączone jednocześnie na skutek awarii w obrębie stacji elektroenergetycznej, do której są one podłączone.

Metody oceny niezawodności SEE

- **Efekty pogodowe (weather related effects).**

Pogoda ma olbrzymi wpływ na procesy uszkodzeń linii napowietrznych. Powoduje to nasilanie się uszkodzeń w krótkich okresach, przy niepomyślnych warunkach pogodowych. Tendencja aby traktować ten problem jako zdarzenie mające wspólną przyczynę jest podejściem zupełnie błędnym, ponieważ proces sam w sobie nie jest wywołany wspólną przyczyną i nie jest uszkodzeniem zależnym. Wiadomo, że wspólne środowisko pogodowe podnosi wskaźnik niezależnych uszkodzeń każdej linii (intensywność – częstość uszkodzeń), co znacznie zwiększa prawdopodobieństwo wielu jednoczesnych wyłączeń linii.

Metody oceny niezawodności SEE

Zwykle wyróżnia się dwa stany (rodzaje) pogody:

- **normalna (normal weather)** i **niekorzystna (adverse weather)**.

Niekorzystne warunki atmosferyczne (burze, mgły, sadź, silny wiatr) nie stanowią więcej niż 5% czasu, ale w tych warunkach występuje 54% uszkodzeń linii napowietrznych. Częstość zakłóceń w czasie niekorzystnych warunków atmosferycznych jest 10 do 80 krotnie wyższa niż podczas trwania normalnych warunków atmosferycznych, lecz średni czas trwania zakłócenia jest krótszy w czasie niekorzystnych warunków atmosferycznych, gdyż większość zakłóceń likwidowana jest automatycznie.

Poważne rozpatrywanie efektu pogodowego rozpoczyna się w badaniach na poziomie HL II, jest on jednak najbardziej istotny na poziomie HL III, obejmującym podsystem rozdzielczy.



Standardy niezawodności SEE

- **W Polsce** stosowane deterministyczne kryterium wystarczalności w odniesieniu do podsystemu wytwarzania, określone jako długoterminowy (20-25 lat) margines mocy w wysokości 24% oraz deterministyczne kryterium „N-1” w odniesieniu do sieci przesyłowej.
- **W UCTE** podstawowe kryterium wystarczalności wytwarzania to wymaganie by tzw. moc pozostała nie była niższa niż 5%. Moc pozostała jest wynikiem szczegółowego bilansu mocy, z uwzględnieniem wszystkich aspektów prowadzenia ruchu systemu, możliwych do przewidzenia w horyzoncie średnioterminowym (3-5 lat).

Standardy niezawodności SEE

- Kryterium wystarczalności UCTE (moc pozostała $> 5\%$) jest bardziej szczegółowe niż wykorzystywane w Polsce (margines mocy $> 24\%$). Pierwsze kryterium odnosi się do planowania średniookresowego (do 3 lat), a drugie do planowania długookresowego (do 20-25 lat), a moc pozostała jest tylko jednym ze składników tak zdefiniowanego marginesu mocy.

Standardy niezawodności SEE

- W ocenie krótkoterminowej wystarczalności wytwarzania w KSE wykorzystywane są również kryteria deterministyczne (zgodne z IRiESP minimalne poziomy rezerw operacyjnych wynoszą 15%, 13%, 11% odpowiednio dla PKR, PKM i PKD). Kryteria te są używane podczas przygotowywania planów koordynacyjnych. Jeśli wielkości kryterialne na rezerwy mocy nie są osiągalne, plan remontów elektrowni jest ponownie rozpatrywany i zmieniany. W obecnych warunkach 15% rezerwy mocy wymaganej w Polsce w horyzoncie czasowym 1 roku odpowiada 5-7% mocy pozostałej, zdefiniowanej w podejściu UCTE.

Standardy niezawodności SEE

- IRIESP podaje również obligatoryjne standardy w zakresie bezpieczeństwa i wystarczalności przesyłu i wymaga, aby parametry jakości energii elektrycznej oraz niezawodności dostaw dla użytkowników sieci zamkniętej były zamieszczane w umowie o świadczenie usług przesyłowych. Nadal podstawowym kryterium niezawodności stosowanym w kraju i innych krajach UCTE jest deterministyczne kryterium „n-1”.
- W warunkach konkurencyjnego rynku energii występować będzie coraz większa presja od strony uczestników rynku na zastąpienie powyższych podejść deterministycznych podejściami probabilistycznymi.

Standardy niezawodności SEE

- Standardy jakościowe obsługi odbiorców są w Polsce określone przez „rozporządzenie systemowe” i obejmują parametry jakości napięcia, ciągłości zasilania odbiorców grup przyłączeniowych IV i V oraz zalecenia co do trybu załatwiania skarg i reklamacji.

Standardy niezawodności SEE VI

Rodzaj przerwy	Odbiorcy I - III oraz VI grupy przyłączeniowej	Odbiorcy IV i V grupy przyłączeniowej
Przerwy nieplanowane	Dopuszczalne czasy przerw określa umowa o świadczenie usług przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej albo umowa kompleksowa	Czas trwania jednorazowej przerwy ≤ 24 h Łączny czas trwania przerw w roku ≤ 48 h
Przerwy planowane		Czas trwania jednorazowej przerwy ≤ 16 h Łączny czas trwania przerw w roku ≤ 35 h
Czas jednorazowej przerwy w łącznym czasie ich trwania jest liczony od momentu zgłoszenia przez odbiorcę braku dostarczania energii elektrycznej do jego przywrócenia		

Standardy niezawodności SEE

- **Przerwy** w dostarczaniu energii elektrycznej, w zależności od czasu ich trwania, dzieli się na przerwy:
 - **Przemijające** (mikroprzerwy), trwające nie dłużej niż 1 s;
 - **Krótkie**, trwające dłużej niż 1 s i nie dłużej niż 3 min;
 - **Długie**, trwające dłużej niż 3 min i nie dłużej niż 12 h;
 - **Bardzo długie**, trwające dłużej niż 12 h i nie dłużej niż 24 h;
 - **Katastrofalne**, trwające dłużej niż 24 h.

Standardy niezawodności SEE

- Operatorzy systemu elektroenergetycznego (przesyłowego – OSP i dystrybucyjnych - OSD) są zobowiązani, w terminie do 31 marca każdego roku, podawać do publicznej wiadomości, przez zamieszczenie na swoich stronach internetowych, wskaźniki, wyznaczone dla poprzedniego roku kalendarzowego.
 - wskaźnik energii niedostarczonej ENS – OSP,
 - średni czas trwania przerwy AIT – OSP,
 - SAIDI – OSP, OSD,
 - SAIFI – OSP, OSD,
 - MAIFI – OSP, OSD.