



opracował: prof. dr hab. inż. Józef Paska, mgr inż. Piotr Marchel

Ćwiczenie nr 5. Wykorzystanie metod i narzędzi komputerowych do analizy i oceny niezawodności systemu elektroenergetycznego – niezawodność wytwarzania energii elektrycznej w SEE

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie metod obliczeń wskaźników niezawodności podsystemu wytwórczego oraz nabycie umiejętności posługiwania się oprogramowaniem komputerowym w obliczeniach niezawodności.

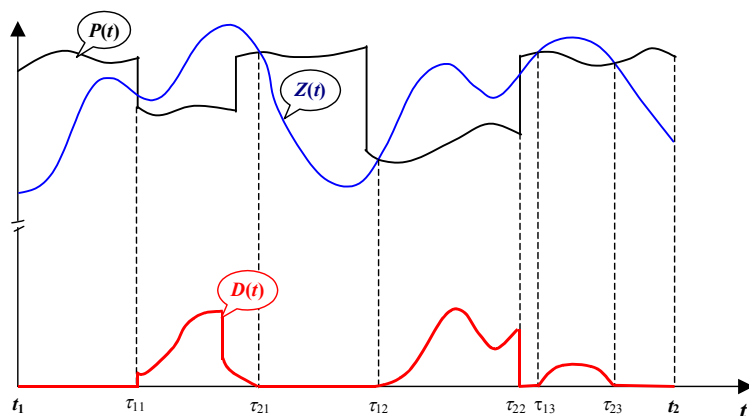
2. Wprowadzenie

a) Niezawodność wytwarzania energii elektrycznej

Niezawodność wytwarzania energii elektrycznej może być rozpatrywana jako zagadnienie przewyższania przez proces stochastyczny zapotrzebowania na moc $Z(t)$ procesu stochastycznego zdolności wytwórczej systemu $P(t)$. Model niezawodności wytwarzania stanowi zatem proces stochastyczny deficytu mocy $D(t)$, określony jako:

$$D(t) = \begin{cases} Z(t) - P(t), & \text{gdy } Z(t) > P(t) \\ 0, & \text{gdy } Z(t) \leq P(t) \end{cases} \quad (1)$$

Przykładowe realizacje procesów $Z(t)$, $P(t)$ i $D(t)$ w przedziale $[t_1, t_2]$ przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowe realizacje procesów losowych zapotrzebowania na moc $Z(t)$, zdolności wytwórczej $P(t)$ i deficytu mocy $D(t)$

Dla ustalonego t (ściśle określonej chwili) $D(t)$ jest zmienną losową, która może przyjmować wartości z określonego przedziału liczb rzeczywistych, i dla której są znane lub mogą być znane prawdopodobieństwa, z jakimi przyjmuje ona wartości z tego przedziału. Zbiór zmien-

nych losowych $D(t)$ dla wszystkich $t \in [t_1, t_2]$ jest procesem stochastycznym $D(t)$ określonym w przedziale $[t_1, t_2]$. W terminologii procesów losowych jest to proces losowy z czasem ciągłym.

Parametry procesu deficytu mocy są charakterystykami ilościowymi niezawodności wytwarzania energii elektrycznej. Mogą to być między innymi:

- czas T trwania deficytu, a więc czas, w ciągu którego $D(t) > 0$ w przedziale $[t_1, t_2]$;
- energia niedostarczona ΔA , czyli pole pod krzywą $D(t)$;
- częstość n występowania deficytu, gdzie n - liczba przedziałów $[\tau_{1i}, \tau_{2i}]$, zawartych w $[t_1, t_2]$, w których $D(t) > 0$.

Dla przyszłości bardzo trudno jest określić rozkłady tych parametrów, natomiast stosunkowo łatwo można wyznaczyć wartości oczekiwane $E[T]$, $E[\Delta A]$, $E[n]$.

W przypadku ogólnym, tzn. gdy zapotrzebowanie na moc i zdolność wytwórcza systemu są procesami losowymi, w równaniu deficytu mocy $D(t)$

$$D(t) = Z(t) - P(t) \quad (2)$$

można dokonać następujących podstawień:

$$Z(t) = m_Z(t) + \delta_Z(t), P(t) = P_{os}(t) - \Delta P_{um}(t) \quad (3)$$

przy czym:

$$m_Z(t) = E[Z(t)], \delta_Z(t) = Z(t) - m_Z(t) \quad (4)$$

gdzie:

$m_Z(t)$ – wartość oczekiwana procesu zapotrzebowania na moc;

$\delta_Z(t)$ – proces losowy odchyłeń procesu $Z(t)$ od jego wartości oczekiwanej;

$P_{os}(t)$ – osiągalna zdolność wytwórcza (moc osiągalna) systemu;

$\Delta P_{um}(t)$ – proces losowy zaniżeń zdolności wytwórczej (ubytków mocy).

Po podstawieniu zależności (3) do równania (2) otrzymuje się:

$$\begin{aligned} D(t) &= m_Z(t) + \delta_Z(t) - P_{os}(t) + \Delta P_{um}(t) = [\delta_Z(t) + \Delta P_{um}(t)] - [P_{os}(t) - m_Z(t)] = \\ &= L_{ZP}(t) - rm(t) \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie:

$L_{ZP}(t)$ – proces losowy będący sumą odchyłeń procesu zapotrzebowania na moc od jego wartości oczekiwanej i zaniżeń zdolności wytwórczej systemu;

$rm(t)$ – wartość oczekiwana rezerwy (marginesu) mocy osiągalnej.

W zależności (5) zagadnienie przewyższania procesu $P(t)$ przez proces $Z(t)$ zostało sprowadzone do zagadnienia przewyższania funkcji $rm(t)$ przez proces stochastyczny $L_{ZP}(t)$, które jest zdecydowanie łatwiejsze do rozwiązania.

W zastosowaniu do zagadnień praktycznych procesy składowe deficytu mocy: proces zdolności wytwórczej i proces zapotrzebowania na moc; jak też niezbędne dla ich określenia modele zazwyczaj rozpatruje się niezależnie i oblicza wskaźniki niezawodności wytwarzania przez odpowiednie połączenie ich wynikowych charakterystyk.

W warunkach ustalonych zdolności wytwórczych systemu (niezmienny zestaw jednostek wytwórczych i stałe ich parametry - moce osiągalne i wskaźniki niezawodności) proces stochastyczny zdolności wytwórczej $P(t)$ jest stacjonarny i może być opisany przez swą dystrybucję $F(P_d)$ - dystrybucję zdolności wytwórczej (mocy dyspozycyjnej) systemu. Zwykle ma to miejsce dla okresu odpowiadającego niezmienniej liczbie bloków w remoncie planowym (zazwyczaj jeden tydzień).

W odniesieniu do procesu zapotrzebowania na moc $Z(t)$ można przyjąć, że prognozowane zapotrzebowanie jest równe swej wartości oczekiwanej i będzie reprezentowane przez znaną funkcję czasu (jest to przypadek szczególny, gdy rozważany proces jest procesem deterministycznym). Ta funkcja czasu może być przedstawiona w postaci przebiegu kalendarzowego (dla krótszych horyzontów czasowych: dzień, tydzień) lub przebiegu uporządkowanego (dla dłuższych horyzontów: miesiąc, pora roku, rok). W tym ostatnim przypadku wykorzystuje się wykres uporządkowany obciążeń godzinnych lub półgodzinnych (LDC - Load Duration Curve) albo wykres uporządkowany dobowych obciążeń szczytowych (DPLVC - Daily Peak Load Variation Curve).

b) Wskaźniki niezawodności wytwarzania

Stosowane są następujące wskaźniki niezawodności wytwarzania:

- *LOLP (Loss of Load Probability)* - prawdopodobieństwo niepokrycia zapotrzebowania. Jest to wskaźnik najstarszy i najbardziej podstawowy, zdefiniowany obecnie jako prawdopodobieństwo, że zapotrzebowanie (obciążenie) przekroczy zdolność wytwórczą (moc dyspozycyjną) systemu;
- *LOLE (Loss of Load Expectation)* - oczekiwany sumaryczny czas trwania deficytów mocy w rozpatrywanym okresie. Jest to wskaźnik najpowszechniej obecnie stosowany przy planowaniu przyszłych mocy wytwórczych. *LOLE* jest z reguły definiowany jako średnia (oczekiwana) liczba dni, w których obciążenie szczytowe przewyższy zdolność wytwórczą (moc dyspozycyjną). Alternatywnie jest określany jako oczekiwana liczba godzin niepokrycia zapotrzebowania. Wskaźnik *LOLE* podaje zatem oczekiwaną liczbę dni (lub godzin), w których może pojawić się deficyt mocy i niepokrycie zapotrzebowania, ma więc interpretację fizyczną w odróżnieniu od *LOLP*, chociaż te dwie wartości są bezpośrednio powiązane. *LOLE* ma wymiar czasu - [dni/rok], [h/rok], [h/tydzień], [h/dobę];
- *LOEE/EENS/EUE (Expected Energy Not Supplied/Loss of Energy Expectation/Expected Unserved Energy)* - wartość oczekiwana energii niedostarczonej. Jest to wartość oczekiwana energii, która nie zostanie dostarczona (udostępniona) odbiorcom w rozpatrywanym okresie (np. w [MW·h/rok]), w sytuacjach, gdy zapotrzebowanie przewyższy zdolność wytwórczą systemu. *LOEE* zawiera więcej informacji niż *LOLE*, wskazuje bowiem zarówno głębokość jak i prawdopodobieństwo deficytów. Wskaźnik ten jest więc bardziej prawdziwym odzwierciedleniem ryzyka i jest coraz powszechniej stosowany. *EENS* i *EUE* są innymi nazwami tego samego parametru;
- *F&D (Frequency and Duration Indices)* - częstość i czas trwania deficytów mocy. Wskaźnik *F&D* jest rozszerzeniem wskaźnika *LOLE* i identyfikuje oczekiwaną częstość występowania deficytów oraz oczekiwany czas trwania pojedynczego deficytu. Dla przykładu, gdy $LOLE = 0,5$ dnia/rok; wartości *F&D* mogą być równe: częstość deficytów $F = 10^{-1}$ a przeciętny czas trwania deficytu $D = 0,05$ dnia. *F&D* zawiera więc dodatkowe

charakterystyki fizyczne, ale nie jest wykorzystywany w praktycznych zastosowaniach. Jest to głównie wynikiem wymagania dodatkowych danych i szybko rosnącej złożoności analiz, nieskutkujących znaczącym efektem w postaci poprawy jakości decyzji planistycznych;

- *EIR (Energy Index of Reliability)* - wskaźnik zapewnienia energii. Jest definiowanym jako stosunek wartości oczekiwanej energii dostarczonej do energii zapotrzebowanej;
- *EIU (Energy Index of Unreliability)* - wskaźnik energii niedostarczonej. Jest definiowany jako stosunek wartości oczekiwanej energii niedostarczonej (*LOEE*) do energii zapotrzebowanej. Suma wskaźników *EIR* oraz *EIU* daje jedność. Wskaźniki te, jako wartości względne, pozwalają na porównywanie niezawodności wytwarzania w dużych i małych systemach, jak również na śledzenie chronologii zmian niezawodności w rozwijającym się systemie;
- *SM (System Minutes)* - zastępczy czas trwania deficytu mocy. Jest to wskaźnik stosowany przez szereg przedsiębiorstw energetycznych. Jest on, podobnie jak poprzednie (*EIR* i *EIU*), związany z *LOEE*, która jest w tym przypadku podzielona przez obciążenie szczytowe (zamiast przez energię zapotrzebowaną). Wskaźnik ma wymiar czasu, ale nie jest to czas rzeczywisty (podobnie jak czas wykorzystania obciążenia szczytowego czy mocy zainstalowanej). W rzeczywistości roczna niedyspozycyjność systemu jest wyższa niż określona przez wartość wskaźnika *SM*;
- *ECD (Expected Capacity Deficiency)* - wartość oczekiwana deficytów mocy. Wskaźnik określa wartość oczekiwaną deficytów mocy w rozpatrywanym okresie (dniu, tygodniu, roku) i ma wymiar mocy;
- *PCD (Probability of Capacity Deficiency)* - prawdopodobieństwo wystąpienia deficytu mocy. Wskaźnik określa prawdopodobieństwo wystąpienia deficytu mocy w rozpatrywanym okresie (dniu, tygodniu, miesiącu, roku);
- *XLOL (eXpected Loss of Load)* - wartość oczekiwana pojedynczego deficytu mocy. Wskaźnik określa wartość oczekiwaną pojedynczego deficytu mocy. Jest on równy stosunkowi wartości oczekiwanej deficytów mocy *ECD* i prawdopodobieństwa wystąpienia deficytu *PCD* w rozpatrywanym okresie. Dla przykładu, gdy $ECD = 0,5 \text{ MW}$, $PCD = 0,005$ - to $XLOL = 0,5/0,005 = 100 \text{ MW}$.

c) Dystrybuanta mocy dyspozycyjnej systemu

Niezawodność systemu oceniana jest na podstawie prawdopodobieństwa, że system jest zdolny (lub nie) do pokrycia określonej wartości zapotrzebowania na moc przez porównanie rozkładu probabilistycznego obciążenia oraz rozkładu zdolności systemu do generowania mocy (mocy dyspozycyjnej). Ryzyko niepokrycia zapotrzebowania otrzymuje się jako prawdopodobieństwo łącznego wystąpienia dwóch niezależnych zdarzeń A i B:

$$P(A, B) = P(A) \cdot P(B), \quad (6)$$

gdzie:

A odpowiada wystąpieniu danego obciążenia,

B odpowiada zdolności wytwórczej systemu mniejszej niż dane obciążenie.

Oznaczmy jako $p_Z(Z)$ funkcję gęstości prawdopodobieństwa zapotrzebowania na moc (przyjmującego wartości z przedziału pomiędzy wartością maksymalną $Z_{\max}$ oraz minimalną $Z_{\min}$)

oraz przez $F_d(Z)$ prawdopodobieństwo, że zdolność wytwórcza systemu (P - moc dyspozycyjna) jest mniejsza niż obciążenie (Z); przy czym $p_d(P)$ jest odpowiednio funkcją gęstości prawdopodobieństwa mocy dyspozycyjnej (zdolności wytwórczej).

$$F_d(Z) = \int_0^Z p_d(P) dZ = P\{P < Z\} \quad (7)$$

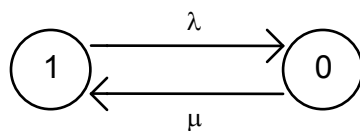
Zatem pierwszy ze wskaźników niezawodności wytwarzania - *LOLP* - dla konkretnej, deterministycznej wartości obciążenia Z_k jest równy wartości dystrybuanty mocy dyspozycyjnej systemu

$$LOLP(Z_k) = F_d(Z_k) = P\{P < Z_k\} \quad (8)$$

d) Modele niezawodnościowe jednostek wytwórczych energii elektrycznej

W czasie eksploatacji jednostki wytwórcze mogą znajdować się w stanach różniących się wartością mocy generowanej. Efektywnym narzędziem do opisu i analizy wielostanowych modeli niezawodności jednostek wytwórczych są procesy semi-Markowa. W praktycznych zastosowaniach, w szczególności dla systemów wytwórczych złożonych z wielu jednostek, przy ocenie niezawodności wytwarzania energii elektrycznej są wykorzystywane prostsze modele opisane poniżej.

Model dwustanowy



- 1 - stan dyspozycyjności (pracy)
- 0 - stan niedyspozycyjności
- λ - parametr strumienia niesprawności
(intensywność uszkodzeń)
- μ - parametr strumienia odnow
(intensywność odnow)

Stan jednostki	Zdolność wytwórcza	Prawdopodobieństwo stanu
1	P_i	p_i
0	0	$q_i = 1 - p_i$

Rys. 2. Dwustanowy model niezawodności jednostki wytwórczej (bloku energetycznego)

Niech w systemie będzie n jednostek wytwórczych, z których każda może z prawdopodobieństwem p_i ($i = 1, \dots, n$) znajdować się w stanie dyspozycyjności (zdolności do pracy) i z prawdopodobieństwem $q_i = 1 - p_i$ w stanie niedyspozycyjności (niezdatności). Moc osiągalna jednostki jest równa P_i . Wówczas parametrem charakteryzującym niezawodność jednostki wytwórczej, wykorzystywanym przy ocenie niezawodności wytwarzania jest wskaźnik niedyspozycyjności (awaryjności)

$$q \equiv U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{MTTR}{MTTF + MTTR} = \frac{MTTR}{T} = \frac{f}{\mu} \quad (9)$$

$$p \equiv A = 1 - q = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{MTTF}{T} = \frac{f}{\lambda} \quad (10)$$

gdzie:

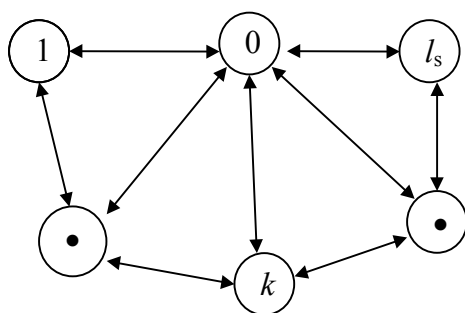
$MTTR = 1/\mu$ - średni czas odnowy ($MTTR$ - *Mean Time To Repair*);

$MTTF = 1/\lambda$ - średni czas pracy bezawaryjnej ($MTTF$ - Mean Time To Failure);
 $T = MTTF + MTTR$ - średni czas pracy między niesprawnościami (średni czas cyklu);
 $f = 1/T$ - częstość niesprawności.

Parametr q daje asymptotyczną ocenę prawdopodobieństwa tego, że przy nie zmienionych warunkach eksploatacji blok nie będzie zdolny wypełniać swych funkcji.

Model wielostanowy

Niech w systemie będzie n jednostek wytwórczych, z których każda poza wyżej wymienionymi stanami może znajdować się w stanach częściowej dyspozycyjności, charakteryzujących się mocą generowaną (zdolnością wytwórczą) niższą od znamionowej (osiągalnej).

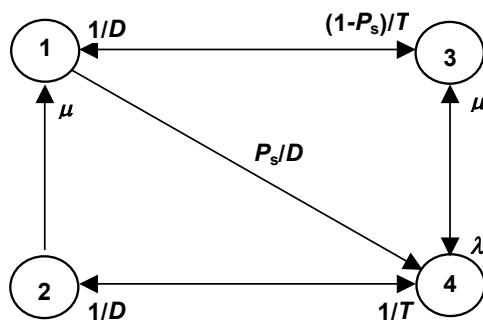


Stan jednostki	Zdolność wytwórcza	Prawdopodobieństwo stanu
1	P_i	$p_{i,1}$
2	$P_{i,2}$	$p_{i,2}$
•	$P_{i,•}$	$p_{i,•}$
k	$P_{i,k}$	$p_{i,k}$
•	$P_{i,•}$	$p_{i,•}$
l_s	P_{i,l_s}	p_{i,l_s}
0	0	$q_i = 1 - \sum_{k=1}^{l_s} p_{i,k}$

Rys. 3. Wielostanowy model niezawodności jednostki wytwórczej (bloku energetycznego)

Wówczas zdolność wytwórcza jednostki będzie zmienną losową przyjmującą $l_{si} + 1$ wartości a pozostałe założenia zostają jak poprzednio.

Model jednostki szczytowej



Rys. 4. Model niezawodności jednostki szczytowej i podszczytowej: T – średni czas trwania stanu rezerwy, D – średni czas pracy, P_s – prawdopodobieństwo nieudanego rozruchu bloku

Jednostka szczytowa lub podszczytowa jest modelowana przy pomocy czterostanowej reprezentacji zaproponowanej przez IEEE. Czterema stanami w tym modelu są: (1) stan rezerwy (jednostka dyspozycyjna, brak zapotrzebowania na jej pracę); (2) stan awarii przy braku zapotrzebowania na pracę jednostki; (3) stan pracy; (4) stan awarii podczas zapotrzebowania na pracę jednostki.

Jeśli funkcjonowanie bloku zostanie opisane za pomocą procesu Markowa, to dla stacjonarnych prawdopodobieństw stanów otrzymuje się:

$$P_1 = 1 - P_2 - P_3 - P_4 \quad (11)$$

$$P_2 = (D\lambda + P_s)/A \quad (12)$$

$$P_3 = [D\mu(1 - P_s) + \mu D + D/T]/A \quad (13)$$

$$P_4 = [D(\mu + 1/T)(D\lambda + P_s)]/A \quad (14)$$

$$p = A = (\underline{D\lambda} + P_s) [(\mu T + 1) + (\mu + 1/T)/D] + [(1 - P_s) + D(\mu + 1/T)][\mu(T + D)] \quad (15)$$

$$q = \frac{P_2 + P_4}{P_2 + P_3 + P_4} \quad (16)$$

Dla zmiennych warunków pracy prawdopodobieństwo warunkowe, że blok nie może przejąć obciążenia, gdy jest to wymagane, wyraża się zależnością:

$$Q = P_4/(P_3 + P_4) \quad (17)$$

Oznaczając $f = \frac{P_4}{P_2 + P_4}$, otrzymuje się:

$$Q = \frac{f(P_2 + P_4)}{P_3 + f(P_2 + P_4)} \quad (18)$$

Parametr f stanowi swego rodzaju wagę odwzorowującą udział czasu remontu awaryjnego zachodzącego w sytuacji, gdy występuje zapotrzebowanie na pracę jednostki.

e) Wyznaczanie dystrybuanty mocy dyspozycyjnej systemu i wskaźników niezawodności wytwarzania

Oznaczmy przez z_i zmienną losową, przyjmującą:

- dla modelu dwustanowego dwie wartości - P_i z prawdopodobieństwem p_i i 0 z prawdopodobieństwem q_i .
- dla modelu wielostanowego $l_s + 1$ wartości - $P_{i,k}$ z prawdopodobieństwami $p_{i,k}$ i 0 z prawdopodobieństwem q_i .

Niech wszystkie z_i będą niezależne. Moc sumaryczna (zdolność wytwórcza, moc dyspozycyjna) całego systemu także będzie zmienną losową:

$$Z = \sum_{i=1}^n z_i, \quad (19)$$

o dystrybuancie $F_Z(x)$. Wyznaczenie tej dystrybuanty jest rozwiązaniem zadania.

Prawdopodobieństwa wszystkich możliwych stanów jednostek wytwórczych, a więc i wszystkich wartości zdolności wytwórczej (mocy dyspozycyjnej) systemu są określone przez iloczyn następujących dwumianów (dla modelu dwustanowego):

$$(p_1 + q_1)(p_2 + q_2) \cdots (p_n + q_n) = p_1 p_2 \cdots p_n + q_1 p_2 p_3 \cdots p_n + q_1 q_2 p_3 p_4 \cdots p_n + \cdots + p_1 q_2 q_3 \cdots q_n + q_1 q_2 \cdots q_n = 1 \quad (20)$$

Pierwszy człon $p_1 p_2 \dots p_n$ zależności (20) określa prawdopodobieństwo dyspozycyjności (pracy) wszystkich jednostek (moc dyspozycyjna równa sumie mocy osiągalnych - ubytek mocy

równy zero) a ostatni $q_1 q_2 \dots q_n$ - prawdopodobieństwo niedyspozycyjności (awarii) wszystkich jednostek (moc dyspozycyjna równa zero - ubytek mocy równy sumie mocy osiągalnych). Pozostałe człony podają prawdopodobieństwa odpowiednich wartości mocy dyspozycyjnej (ubytku mocy). Po zsumowaniu prawdopodobieństw odpowiadających takim samym mocom otrzymuje się rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej - mocy dyspozycyjnej (ubytku mocy) systemu i następnie dystrybuantę tej mocy (jest to dyskretna zmienna losowa typu skokowego).

Metoda rekurencyjna wyznaczania mocy dyspozycyjnej systemu

Metoda jest metodą dokładną, nie opiera się jednak na zastosowaniu rozwinięcia iloczynu dwumianów (wielomianów). Istota metody polega na zastosowaniu formuły rekurencyjnej:

$$F_k = q_k F_{k-1}(x) + p_k F_{k-1}(x - P_k) \quad (21)$$

W ten sposób poczynając od $F_0(x)$, kolejno stosując formułę (21) otrzymuje się $F_n(x) = F_Z(x)$.

Formuła rekurencyjna (21) stanowi istotę metody rekurencyjnej. W metodzie tej zatem do systemu zerowego, tj. takiego, którego moc wytwórcza jest równa zero, dodaje się kolejne jednostki wytwórcze. Po każdym zwiększeniu mocy wytwórczej systemu oblicza się wartości dystrybuanty mocy dyspozycyjnej, idąc w kierunku ich wartości malejących. Obliczenia powtarza się dla poszczególnych wprowadzanych jednostek aż do skompletowania pełnej mocy wytwórczej. Wartości końcowe są poszukiwanymi wartościami dystrybuanty mocy dyspozycyjnej SEE.

Stosowane zależności analityczne są następujące:

■ Model dwustanowy

$$P(X) = p_i P'(X) + q_i P'(X - P_i) \quad (22)$$

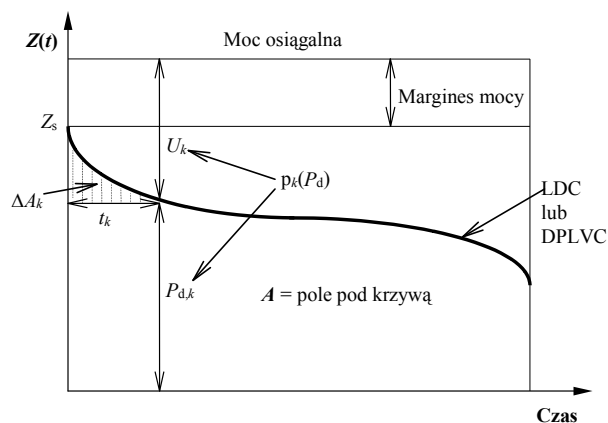
gdzie: $P'(X)$ i $P(X)$ są skumulowanymi prawdopodobieństwami awaryjnego ubytku mocy w wysokości X MW, przed i po dołączeniu i -tej jednostki o mocy osiągalnej P_i . Punktem startu dla zależności (22) jest podstawienie $P'(X) = 1$ dla $X \leq 0$ oraz $P'(X) = 0$ dla $X > 0$.

■ Model wielostanowy

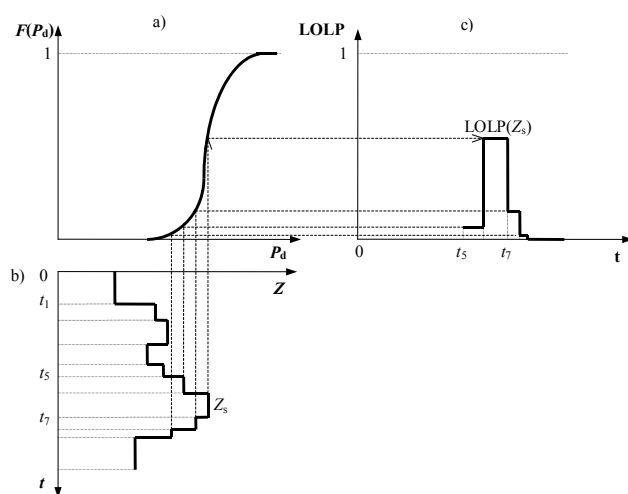
$$P(X) = \sum_{k=0}^{I_s} p_{i,k} P'(X + P_{i,k} - P_i) \quad (23)$$

Wyznaczanie wskaźników niezawodności wytwarzania energii

Ogólną ideę praktycznego obliczania wskaźników niezawodności wytwarzania pokazano na rys. 5. Każdy stan (wartość) mocy dyspozycyjnej systemu $P_{d,k}$ (ubytku mocy - U_k) jest w warunkach stacjonarnych reprezentowany przez wartość prawdopodobieństwa $p_k(P_d)$ i dystrybuanty $F(P_{d,k})$. Odpowiadający k -temu stanowi czas, w którym obciążenie przewyższa moc dyspozycyjną, ma wartość t_k (w godzinach dla LDC i dniach dla DPLVC). Można też wyznaczyć ilość niedostarczonej energii ΔA_k , energię zapotrzebowaną A i obciążenie szczytowe Z_s .



Rys. 5. Ilustracja połączenia modeli zdolności wytwórczej i obciążenia dla obliczenia wskaźników niezawodności wytwarzania



Rys. 6. Ilustracja obliczania wskaźnika LOLP przy wykorzystaniu dystrybuanty mocy dyspozycyjnej i kalendarzowego przebiegu obciążenia: a) dystrybuanta mocy dyspozycyjnej - model zdolności wytwórczej systemu, b) prognozowany przebieg zapotrzebowania (kalendarzowy), c) wynikowy wykres LOLP

Podstawowe wskaźniki niezawodności wytwarzania energii elektrycznej w SEE są określone zależnościami:

$$\begin{aligned}
 LOLP(Z_k) &= F(Z_k) = P\{P_d < Z_k\}, \quad LOLE = \sum t_k p_k(P_d), \\
 LOEE &= \sum \Delta A_k p_k(P_d), \quad EIU = \frac{LOEE}{A}, \quad EIR = 1 - EIU, \\
 SM &= \frac{LOEE}{Z_s} \cdot 60.
 \end{aligned} \tag{24}$$

f) Program ONWWin

Program ONWWin służy do obliczania wskaźników niezawodności podsystemu wytwórczego. Napisany został przy użyciu kompilatora Borland Delphi 2.0. Pracuje on pod kontrolą systemów operacyjnych Microsoft Windows w wersji 32 bitowej: Windows 95, 98, NT, Me, 2000, XP, Vista.

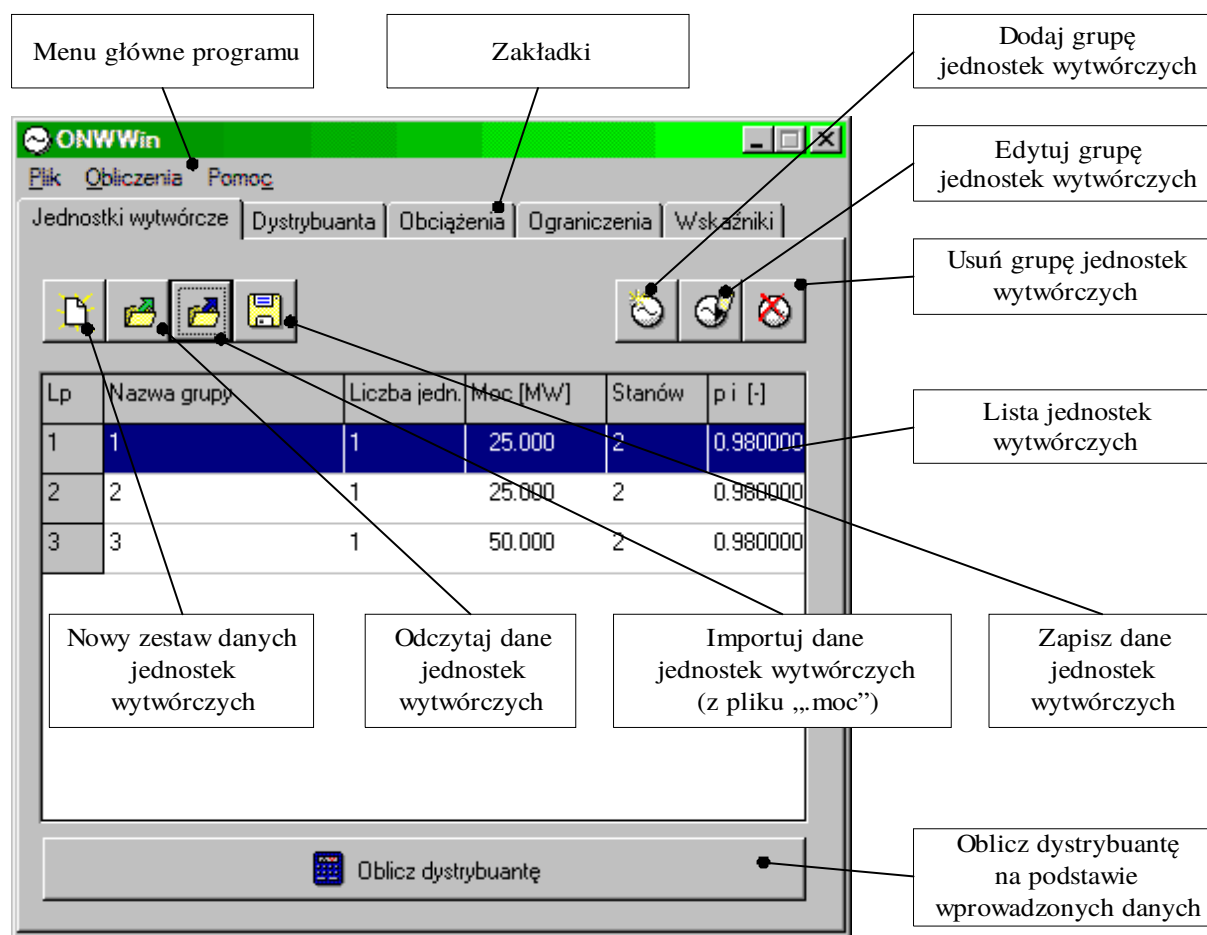
Program ONWWin komunikuje się z użytkownikiem za pomocą okien. Główne okno programu jest podzielone na zakładki, prowadzące użytkownika przez kolejne etapy obliczania niezawodności podsystemu wytwórczego.

Krok 1: Edycja danych jednostek wytwórczych w systemie

Edycja danych jednostek wytwórczych w analizowanym systemie odbywa się w oknie zakładki „Jednostki wytwórcze”. Jej wygląd został pokazany na rys. 7.

U góry zakładki, po lewej znajdują się przyciski umożliwiające: zapis, odczyt oraz wyczyszczenie danych jednostek wytwórczych. Po prawej stronie, u góry znajdują się trzy przyciski umożliwiające dodawanie, edycję oraz usuwanie danych o konkretnych grupach jednostek wytwórczych.

Dane jednostek mogą być odczytane oraz zapisane w plikach o rozszerzeniu „.ong”. Możliwy jest również odczyt danych z plików „.moc” używanych w programie ONW.



Rys. 7. Zakładka „Jednostki wytwórcze”

Wprowadzanie danych grupy jednostek zaczyna się po naciśnięciu przycisku „Dodaj grupę jednostek wytwórczych”. Wyświetlone zostanie wówczas okno dialogowe przedstawione na rys. 8. Możliwe jest wpisanie nazwy grupy jednostek oraz określenie liczby jednostek w danej grupie. Jeśli dana grupa jednostek jest opisywana za pomocą modelu dwustanowego, wówczas należy zaznaczyć opcję „Model dwustanowy” i wpisać moc osiągalną danej grupy jednostek oraz prawdopodobieństwo przebywania w stanie dyspozycyjności (p_i) lub niedy-

spozycyjności (q_i). Wystarczy podać jedną z tych wartości, druga z nich jest wyliczana automatycznie przez program.

Dane grupy jednostek wytwórczych

Nazwa grupy jednostek :

Liczba jednostek:

☒ Model dwustanowy

Moc: MW

p_i : q_i :

☐ Model wielostanowy

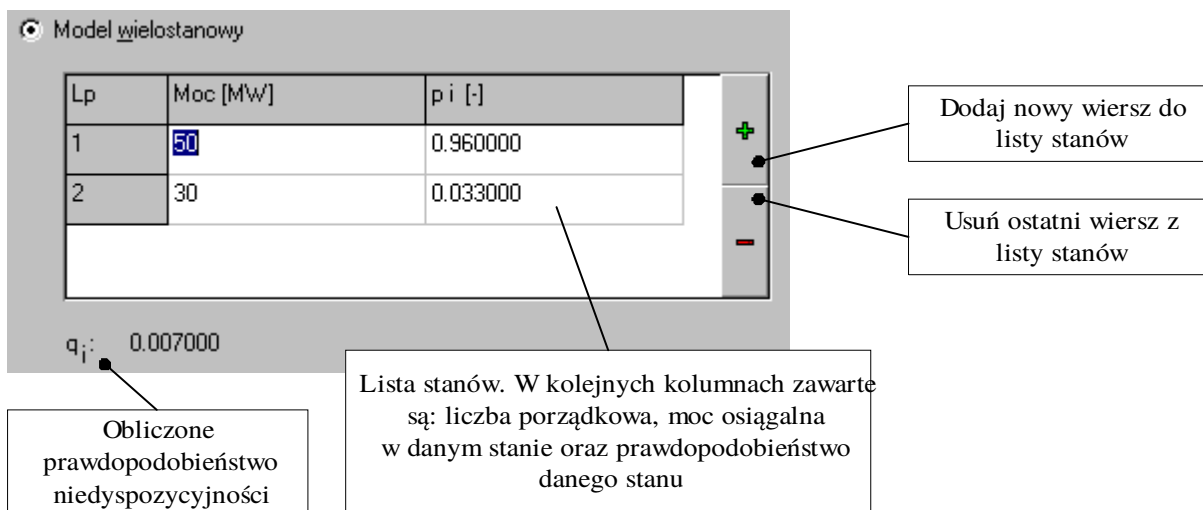
Lp	Moc [MW]	p_i [-]
1		0.000000
2		0.000000

q_i 1.000000

Rys. 8. Okno wprowadzania danych grupy jednostek wytwórczych

Jeżeli daną grupę jednostek opisuje się za pomocą modelu wielostanowego, należy zaznaczyć w oknie wprowadzania danych opcję „Model wielostanowy”, a następnie wprowadzić poziomy mocy dysponowanej oraz odpowiadające im wyliczone prawdopodobieństwa do znajdującej się poniżej tabelki (rys. 9). Można wprowadzić dowolną liczbę stanów jednostek. Liczba wierszy w tabeli zmienia się za pomocą umieszczonych obok przycisków „+” - dodanie nowego wiersza oraz „-” - usunięcie ostatniego wiersza. Poniżej jest wyliczone prawdopodobieństwo niedyspozycyjności danej grupy jednostek (q_i). Po wprowadzeniu danych operację można zatwierdzić za pomocą przycisku „OK” lub odrzucić za pomocą przycisku „Anuluj”.

Aby usunąć daną grupę jednostek wytwórczych, należy nacisnąć przycisk „Usuń grupę jednostek wytwórczych” na zakładce „Jednostki wytwórcze” w głównym oknie programu. Wówczas użytkownik zostanie zapytany, czy jest pewien decyzji. Usunięcie nastąpi po wybraniu „OK”.



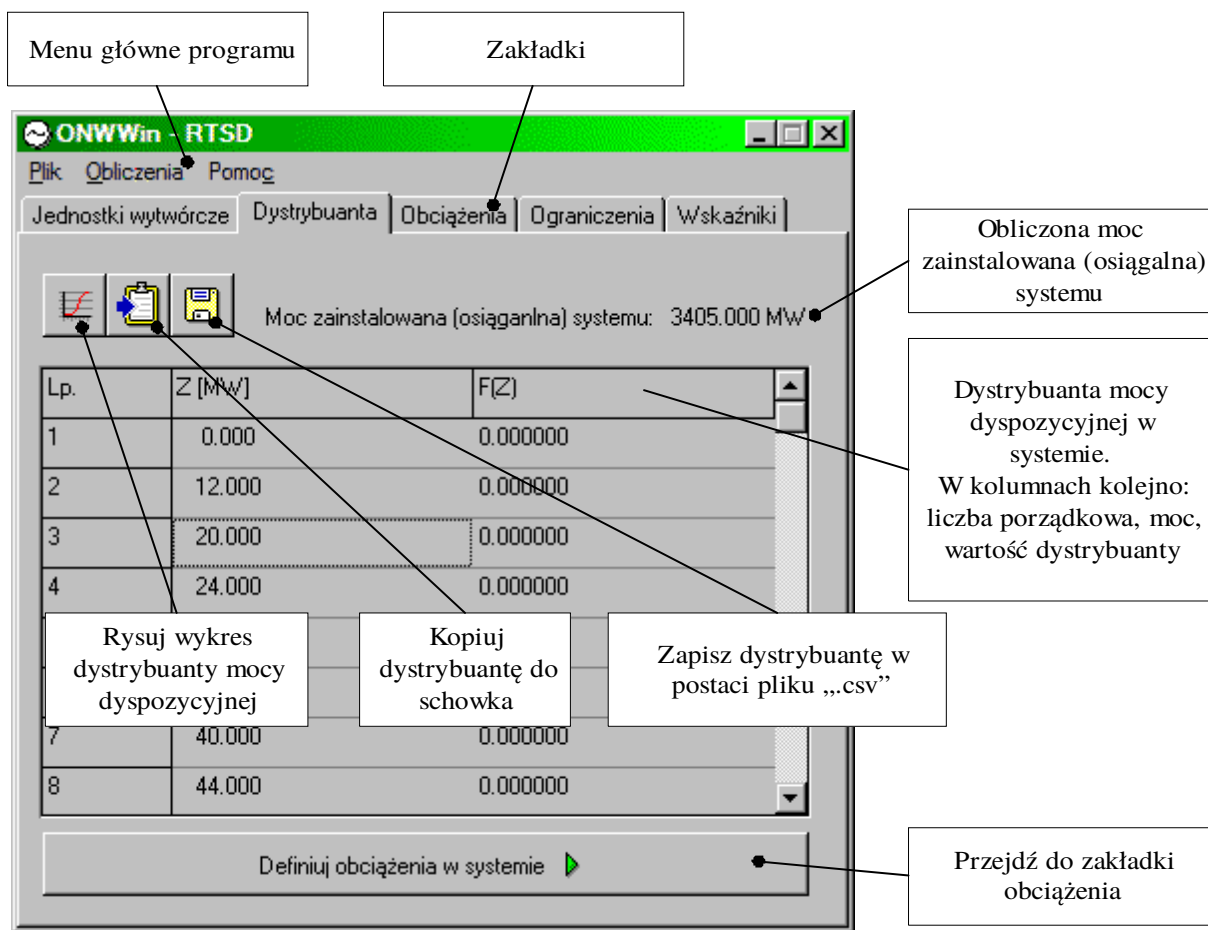
Rys. 9. Wprowadzanie danych jednostek wytwórczych przy modelu wielostanowym. W kolumnach wprowadzany jest poziom mocy w danym stanie oraz odpowiadające mu prawdopodobieństwo

Jeśli dane jednostek wytwórczych są pełne można przejść do obliczenia dystrybuanty mocy dyspozycyjnej w systemie. Służy do tego przycisk „Oblicz dystrybuantę” znajdujący się w dolnej części głównego okna programu. Po naciśnięciu przycisku program zaczyna obliczenia. Czas obliczeń jest zależny od szybkości użytkowanego komputera, systemu operacyjnego oraz złożoności analizowanego systemu i w przypadku dużych systemów może on wynosić kilka minut. Dla mniejszych systemów obliczenia trwają kilka-kilkanaście sekund. Po skończeniu obliczeń program przechodzi do kolejnej zakładki „Dystrybuanta”.

Krok 2: Dystrybuanta mocy dyspozycyjnej w systemie

Obliczona dystrybuanta zostanie przedstawiona w tabeli umieszczonej na zakładce „Dystrybuanta” (Rys. 10). Zakładka ta pozwala na: przeglądanie wyliczonych wartości dystrybuanty mocy dyspozycyjnej w systemie, przedstawienie obliczonych wartości w postaci wykresu, zapis danych do pliku tekstowego w formacie „.csv” oraz skopiowanie wartości do schowka. Liczby są zapisywane i kopiowane w notacji naukowej, z częścią dziesiętną oddzieloną przecinkiem.

Po naciśnięciu przycisku „Narysuj wykres dystrybuanty mocy dyspozycyjnej”, program wyświetli okno zawierające wykres dystrybuanty mocy dyspozycyjnej w systemie.

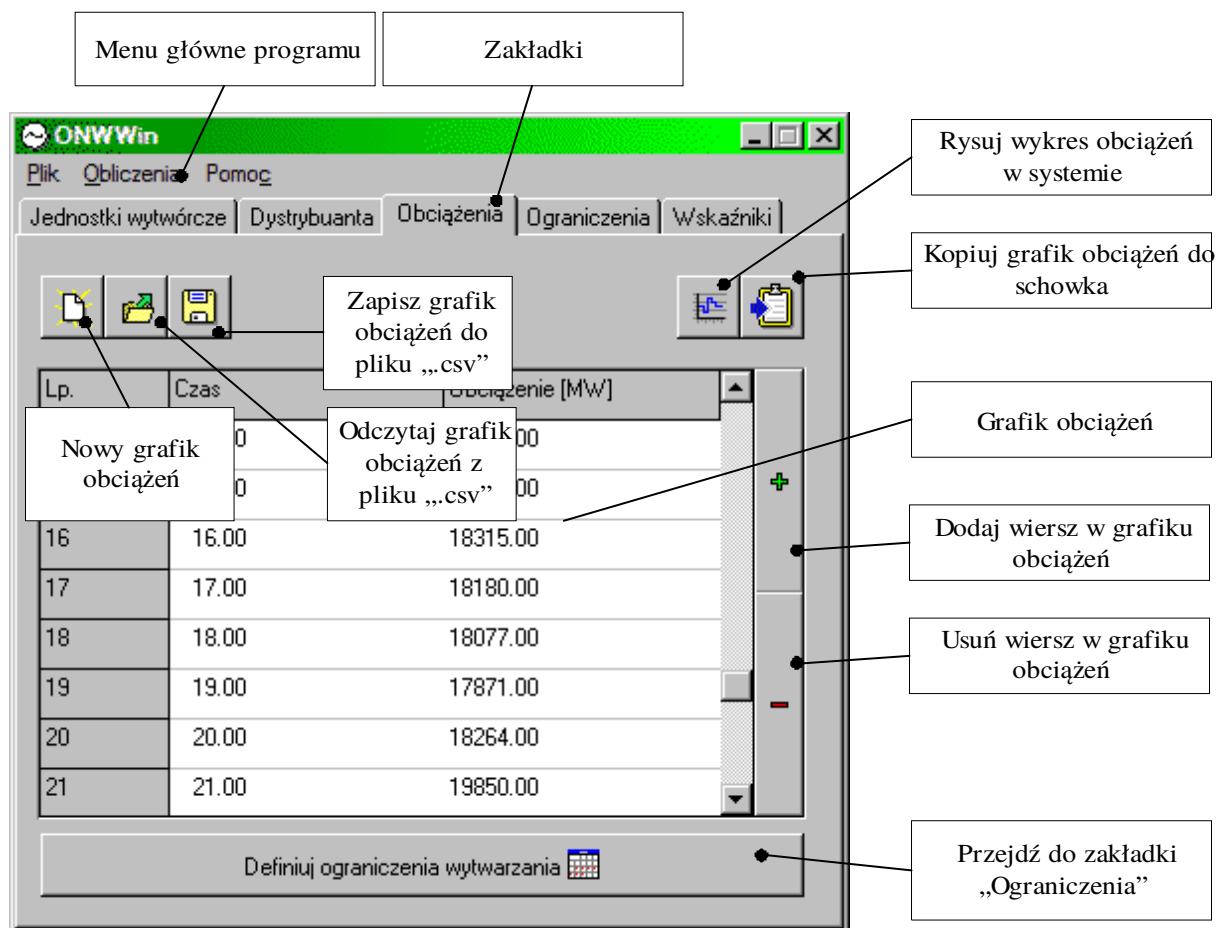


Rys. 10. Zakładka „Dystrybuanta”

Po naciśnięciu przycisku „Definiuj obciążenia w systemie”, program przejdzie do kolejnej zakładki „Obciążenia”.

Krok 3: Obciążenia w systemie

Obciążenia są wprowadzane do programu za pomocą zakładki „Obciążenia”. Jej wygląd został przedstawiany na rys. 11. Edycja danych odbywa się bezpośrednio w tabeli umieszczonej na zakładce. Aby dodać nowy wiersz, należy nacisnąć przycisk „+”, znajdujący się po prawej stronie tabeli. Usunięcie wiersza następuje po naciśnięciu przycisku „-”. Możliwy jest zapis oraz odczyt danych z pliku „.csv”. Wpisywany czas jest chwilą zakończenia trwania określonego poziomu mocy w systemie. Dane mogą być wpisywane w dowolnej kolejności oraz z dowolnym krokiem czasowym. Naciśnięcie przycisku „Rysuj wykres obciążeń”, spowoduje wyświetlenie okna z wykresem wprowadzonego grafiku obciążeń. Po zakończeniu wprowadzania danych należy nacisnąć przycisk „Definiuj ograniczenia wytwarzania”. Spowoduje to przejście do kolejnej zakładki „Ograniczenia”.

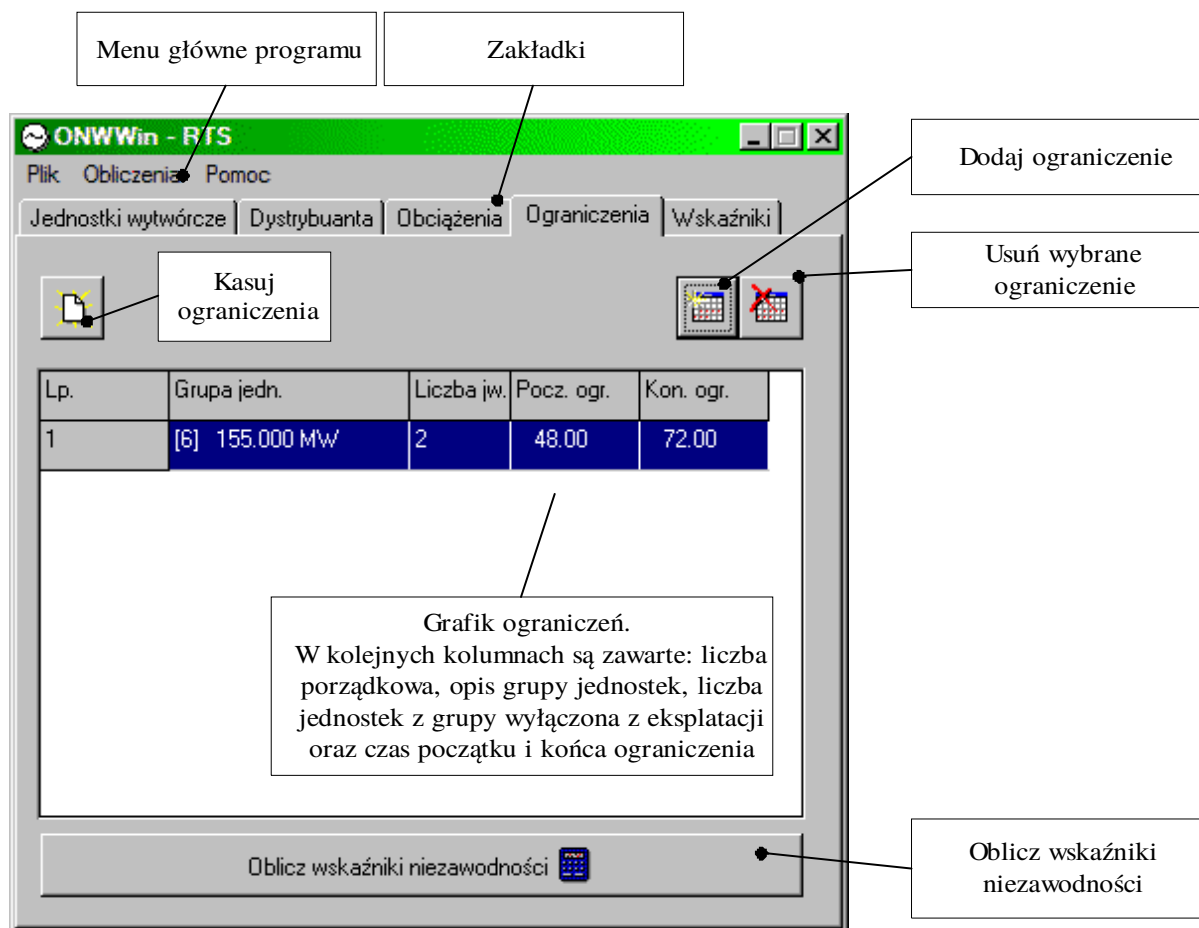


Rys. 11. Zakładka „Obciążenia”

Krok 4: Definiowanie ograniczeń

Program ONWWin pozwala na wprowadzenie ograniczeń w wytwarzaniu przez poszczególne grupy jednostek wytwórczych. Oznacza to, że można określić czas, w którym dana jednostka lub grupa jednostek jest wyłączona z eksploatacji. Do wprowadzania ograniczeń służy zakładka „Ograniczenia”, przedstawiona na rys. 12.

Ograniczenia dodawane są za pomocą przycisku „Dodaj ograniczenie”. Program wyświetli wówczas okno dialogowe, w którym możliwy jest wybór grupy jednostek wytwórczych, liczby jednostek z grupy, które mają być wyłączone z eksploatacji oraz czas rozpoczęcia i zakończenia ograniczenia. Usunięcie wybranego ograniczenia z grafika jest możliwe za pomocą przycisku „Usuń wybrane ograniczenie”

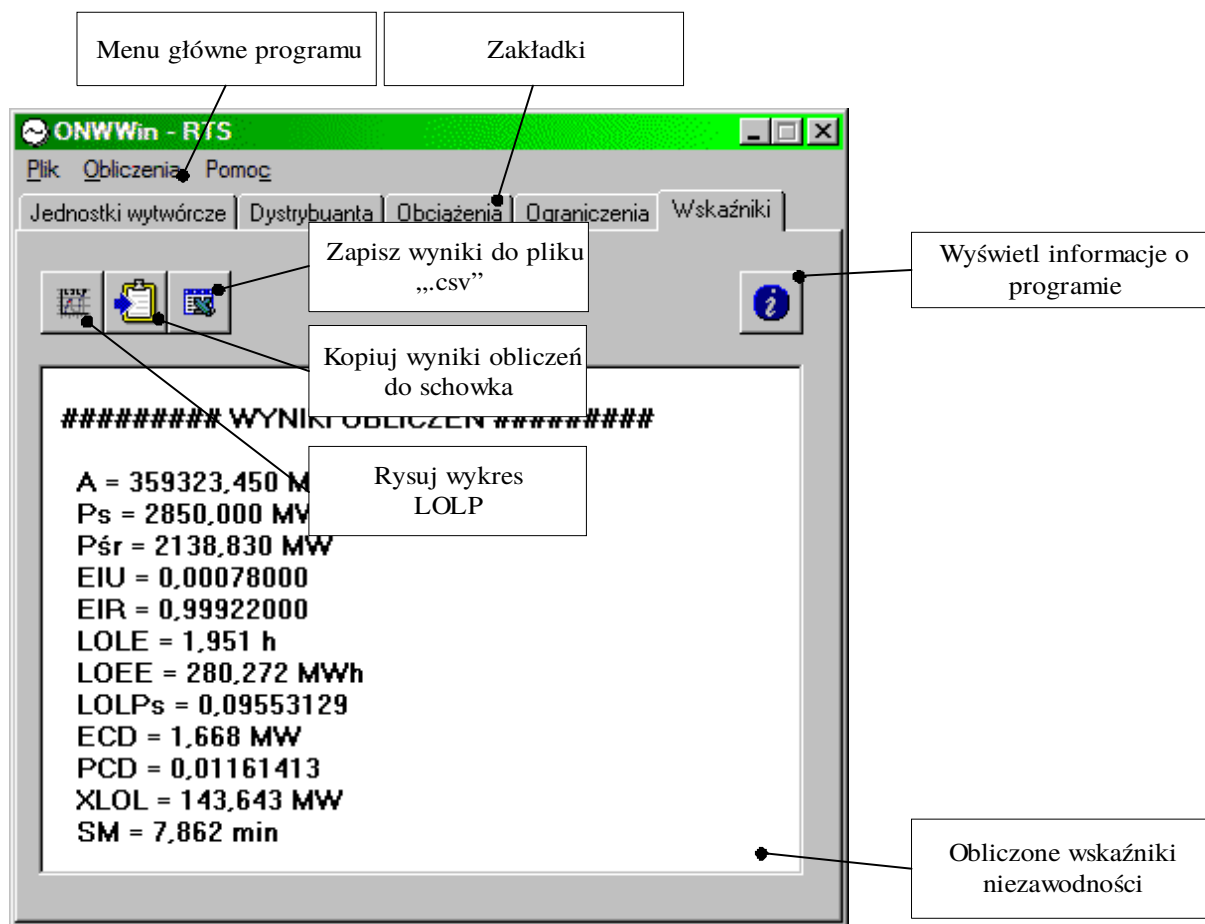


Rys. 12. Zakładka „Ograniczenia”

Ograniczenia są kasowane wraz z każdorazową zmianą parametrów jednostek wytwórczych lub zmianą grafika obciążeń w systemie. Po zdefiniowaniu ograniczeń należy nacisnąć przycisk „Oblicz wskaźniki niezawodności”. Program wówczas rozpocznie obliczanie wskaźników niezawodności podsystemu wytwórczego, a następnie przejdzie do zakładki „Wskaźniki”. W przypadku, gdy nie ma potrzeby definiowania ograniczeń w funkcjonowaniu jednostek wytwórczych, możliwe jest przejście bezpośrednie do obliczeń wskaźników niezawodności systemu, pozostawiając grafik ograniczeń pusty.

Krok 5: Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń są przedstawiane na zakładce „Wskaźniki”. Jej wygląd jest pokazany na rys. 13.



Rys. 13. Zakładka „Wskaźniki”

W zakładce wyświetlone są następujące wskaźniki niezawodności podsystemu wytwórczego: energia zapotrzebowana A , moc szczytowa zapotrzebowania P_s , moc średnia zapotrzebowania P_{sr} , wskaźnik niedyspozycyjności energetycznej EIU , wskaźnik zapewnienia energii (dyspozycyjności energetycznej) EIR , oczekiwany czas trwania deficytu mocy $LOLE$, oczekiwana wartość energii niedostarczonej $LOEE$, szczytowe prawdopodobieństwo niepokrycia zapotrzebowania na moc $LOLPs$, wartość oczekiwana deficytu mocy ECD , prawdopodobieństwo deficytu mocy PCD , wartość oczekiwana pojedynczego deficytu mocy $XLOL$ oraz minuty systemowe SM . Po naciśnięciu przycisku „Rysuj wykres LOLP” zostanie wyświetlone okno zawierające wykres wartości wskaźnika $LOLP$ w analizowanym okresie. Wyniki obliczeń mogą zostać zapisane do pliku „.csv” celem ich dalszej obróbki, na przykład za pomocą arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel.

3. Zadania do wykonania

- 1) Korzystając z arkusza kalkulacyjnego Excel, wyznacz, używając metody rekurencyjnej (wzory 21-23), dystrybuantę mocy dyspozycyjnej systemu zbudowanego z 3 jednostek wytwórczych o parametrach podanych poniżej.

Numer jednostki	Numer stanu	Moc [MW]	Prawdopodobieństwo stanu p_i
1	1	25	0,98
2	1	50	0,96
	2	30	0,033
3	1	25	0,98

Narysuj wykres dystrybuanty mocy dyspozycyjnej. Wyznacz prawdopodobieństwo niepokrycia zapotrzebowania *LOLP* przy obciążeniu wynoszącym 90 MW.

- 2) Używając programu ONWWin, wyznacz dystrybuantę mocy dyspozycyjnej systemu testowego RTS-79 zbudowanego z jednostek wytwórczych o parametrach podanych poniżej.

Moc bloku [MW]	Liczba jednostek	Wskaźnik awaryjności (q_i)	Wskaźnik niezawodności (p_i)
12	5	0,02	0,98
20	4	0,10	0,90
50	6	0,01	0,99
76	4	0,02	0,98
100	3	0,04	0,96
155	4	0,04	0,96
197	3	0,05	0,95
350	1	0,08	0,92
400	2	0,12	0,88

Przyjmując podane obciążenie dla testowego 51 tygodnia (o największym zapotrzebowaniu na moc) wyznacz wskaźniki niezawodności systemu.

Rozbuduj system testowy RTS-79 o 10 farm wiatrowych przedstawionych w postaci modelu trójstanowego, które parametry zostały podane w tabeli poniżej.

Numer stanu	Moc [MW]	Prawdopodobieństwo stanu p_i
1	10	0,2
2	4	0,3
3	0	0,5

Wyznacz dystrybuantę mocy dyspozycyjnej i oblicz wskaźniki niezawodności systemu w tym przypadku. Porównaj otrzymane wyniki.

4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) Tabelę tytułową (nazwa i numer ćwiczenia, nazwiska i imiona wykonujących ćwiczenie, data wykonania ćwiczenia oraz data oddania sprawozdania);
- 2) Rozwiązania zadań wraz z opisem i koniecznymi wykresami i schematami;
- 3) Wnioski i obserwacje z wykonanego ćwiczenia.

5. Literatura

- [1] Paska J.: Niezawodność systemów elektroenergetycznych. Oficyna Wydawnicza PW. Warszawa 2005