

## HIERARCHIZACJA INWESTYCJI SŁUŻĄCYCH POLEPSZENIU NIEZAWODNOŚCI DOSTAW ENERGII ELEKTRYCZNEJ

### *Prioritisation of Investments for Improving Electrical Power Supply Reliability*

Leszek SZCZYGIEŁ

Politechnika Łódzka / URE Oddział Terenowy w Łodzi

**Streszczenie:** Artykuł zapoznaje z metodą hierarchizacji działań inwestycyjnych, służących polepszeniu niezawodności dostaw energii elektrycznej, zaproponowaną przez dyrekcję ds. dystrybucji ELECTRICITE de FRANCE (EDF) do stosowania w każdym ze 101 centrów dystrybucji (odpowiednik polskich zakładów energetycznych) podległych tej dyrekcji.

Przedstawione w artykule kryterium hierarchizacji (kryterium R), typu skuteczność/koszt, wyraża dla każdego działania inwestycyjnego stosunek pomiędzy oczekiwanym rocznym zyskiem wynikającym z ciągłości dostaw, a rocznym kosztem jego uzyskania.

Zaproponowane kryterium wynika bezpośrednio z kryterium G, dotyczącego minimalnej gwarantowanej niezawodności dostaw energii elektrycznej i ustala klasyfikację operacji inwestycyjnych w optymalnym porządku podejmowania kolejnych zadań.

Ta wewnętrzna hierarchizacja przedsięwzięć inwestycyjnych stanowi pierwszy, niezbędny, etap ułatwienia pracy decydentowi, który, uwzględniając następnie dane zewnętrzne, ustala aktualny plan realizacji inwestycji w swoim zakładzie.

#### 1. WSTĘP

W artykule przedstawiono metodę hierarchizacji działań inwestycyjnych, służących polepszeniu niezawodności dostaw energii elektrycznej, zaproponowaną przez dyrekcję ds. dystrybucji Electricité de France (EDF) do stosowania w każdym ze 101 centrów dystrybucji (odpowiednik polskich zakładów energetycznych) podległych tej dyrekcji.

Dla wszystkich przedsięwzięć dystrybucyjnych zaleca się ocenę i zhierarchizowanie przedsięwzięć inwestycyjnych w zależności od stosunku „zysk na usuniętych wadach/roczna rata płatności”. Należy wyjaśnić, że zysk ten jest wynikiem zmniejszenia się w skali roku liczby i czasu przerw w zasilaniu pomiędzy sytuacją wyjściową (przed wykonaniem inwestycji) a sytuacją końcową (po uruchomieniu inwestycji), a zatem jest on miarą skute-

**Summary:** This paper presents a method for prioritizing of investments for improving electrical power supply reliability. The method was proposed by the distribution management of ELECTRICITE de FRANCE (EDF) for all 101 of their Distribution Centres (equivalent to the Polish Distribution Company).

This paper presents a hierarchy criterion (criterion R). This is a criterion of the type efficiency/cost and shows the ratio of the expected gain per year due to continuous energy supply relative to the cost of the supply.

The proposed criterion directly follows from the G criterion concerning the minimum guaranteed energy supply reliability. The criterion helps rank investments in an optimal way.

This internal hierarchy of investments is the first step in helping the decision-makers who determine the investments plans for their own Centres.

czności takiej inwestycji. Natomiast roczną ratę płatności (koszt roczny) wylicza się z uwzględnieniem czasu „życia” inwestycji i po odjęciu ewentualnych oszczędności (np. na konserwacji) przysporzonych przez dane zamierzenie inwestycyjne.

Zaproponowane kryterium, zwane KRYTERIUM R, wynika bezpośrednio z KRYTERIUM G [6] dotyczącego minimalnej, gwarantowanej niezawodności dostaw energii elektrycznej i ustala klasyfikację operacji inwestycyjnych w optymalnym porządku podejmowania kolejnych zadań.

#### 2. KRYTERIUM HIERARCHIZACJI INWESTYCJI

Żeby osiągnąć poziom odpowiedniej niezawodności dostaw energii elektrycznej, przedsiębiorstwa dystrybucyjne wybierają, a następnie realizują, pewną liczbę ope-

racji w sieciach, przy czym operacje te wchodzi do ich budżetu inwestycyjnego lub eksploatacyjnego. Chcąc dokonać wyboru niezbędnych przedsięwzięć, przedsiębiorstwa muszą realizować okresowo kompletne opracowania w zakresie:

- adaptacji schematów docelowych sieci, uwzględniających cele przedsiębiorstwa i potrzeby klientów,
- diagnozy stanu obiektów na podstawie baz danych, kart awarii, wyników wizji lokalnych na niektórych obiektach itp.,
- poszukiwania nowych rozwiązań technicznych i wyboru rozwiązania optymalnego z punktu widzenia techniczno-ekonomicznego dla każdego zidentyfikowanego słabego punktu sieci lub jej grupy;
- sklasyfikowania tak określonych rozwiązań według porządku, w jakim należy je realizować, aby jak najszybciej uzyskać efekt w postaci poprawy niezawodności dostaw w taki sposób, żeby optymalnie wykorzystać możliwości finansowe zakładu.

Inaczej mówiąc, chodzi o ustalenie wewnętrznej klasyfikacji działań inwestycyjnych, która będzie najpierw klasyfikacją teoretyczną, a następnie będzie można ją zaktualizować, poprzez uwzględnienie danych i wymogów zewnętrznych, oraz rozszerzyć na okresy wieloletnie.

Zaproponowano więc kryterium klasyfikacji typu „skuteczność/koszt”, które wyraża dla każdego działania inwestycyjnego stosunek pomiędzy oczekiwanym rocznym zyskiem, wynikającym z ciągłości dostaw, a rocznym kosztem jego uzyskania.

Zgodnie z kryterium  $G$ , sześć długich przerw w zasilaniu jest równoważne siedemdziesięciu przerwom bardzo krótkim lub trzem godzinom skumulowanych długich przerw awaryjnych w zasilaniu (trzy pierwsze podstawowe zmienne kryterium  $G$ ). Najogólniej biorąc, każde działanie dotyczące poprawy ciągłości dostaw energii elektrycznej związane jest z możliwością uzyskania wartości oczekiwanej zysku rocznego związanego z wyeliminowaniem:

- $X$  długich przerw dla liczby odbiorców  $N_1$ ,
- $Y$  bardzo krótkich przerw dla liczby odbiorców  $N_2$ ,
- łącznej sumy wszystkich skumulowanych długich przerw  $T_j$  (w godzinach) dla  $N_j$  odbiorców.

Można zatem zwaloryzować zysk roczny dzięki działaniom w zakresie poprawy ciągłości dostaw i przedstawić go za pomocą wzoru:

$$ZYSK = N_1 X + \frac{6}{70} N_2 Y + \frac{6}{3} \sum_j N_j T_j \quad (1)$$

wyrażanego w jednostkach [odbiorcy · równoważnik wyeliminowanych wad], które dalej będą nazywane w skrócie [odbiorcy · wyeliminowane wady].

Ogólnie (poza zabezpieczeniami specjalnymi):

$$N_1 = N_2 = N \quad (2)$$

gdzie:

$N$  — liczba odbiorców niskiego napięcia, zasilanych z odpyły linii średniego napięcia.

Zatem wyrażenie (1) można skrócić do postaci:

$$ZYSK = N \left( X + \frac{6}{70} Y \right) + 2 \sum_j N_j T_j \quad (3)$$

Podstawiając:

$$T_z = \frac{\sum_j N_j T_j}{N} \quad (4)$$

gdzie:

$T_z$  — zysk związany ze skróceniem średniego czasu trwania przerwy na odpyły SN (wyrażony w godzinach), uzyskany dzięki działaniom inwestycyjnym służącym polepszaniu ciągłości dostaw energii elektrycznej,

otrzymuje się:

$$ZYSK = N (X + 0,086Y + 2T_z) \quad (5)$$

Zaproponowanym kryterium  $R$  hierarchizacji inwestycji będzie stosunek wartości oczekiwanej zysku rocznego (5) do kosztu rocznego (tj. do rocznej raty wydatków  $A_n$ ) i wyrazi się w jednostkach [odbiorcy · wyeliminowane wady/wydatkowane tys. FRF]:

$$R = \frac{N (X + 0,086Y + 2T_z)}{A_n} \quad (6)$$

przy czym koszt roczny  $A_n$  w tys. FRF można przedstawić wzorem:

$$A_n = a \cdot I = \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1} \cdot I \quad (7)$$

gdzie:

$T$  — przewidywany okres eksploatacji inwestycji (czas „życia” inwestycji) w latach,

$I$  — koszt inwestycji w tys. FRF (wydatek inwestycyjny),

$i$  — roczna stopa dyskontowa (aktualnie we Francji  $i = 8\%$ ),

$a$  — współczynnik rocznej raty wydatków, inaczej zwany współczynnikiem zwrotu kapitału (Capital Recovery Factor — CRF).

$$a = \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1} \quad (8)$$

Zastosowanie kryterium  $R$  (wzór 6) pozwala zhierarchizować wszystkie przedsięwzięcia inwestycyjne przedsiębiorstwa w taki sposób, żeby otrzymać zbiorczą tabelę niezbędnych działań inwestycyjnych w wymaganej kolejności ich realizacji. Zgodnie z tym kryterium inwestycje należy wykonywać w kolejności zgodnej ze zmniejszającymi się wartościami współczynnika  $R$ . Im większa war-

tość współczynnika  $R$  dla danego przedsięwzięcia inwestycyjnego, tym szybciej powinno ono zostać zrealizowane.

### 3. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ KRYTERIUM $R$

Dwa poniższe przykłady dotyczą różnych przedsięwzięć inwestycyjnych dla osiągnięcia celu, jakim jest poprawa ciągłości dostaw energii elektrycznej. Obie omawiane inwestycje należy poklasyfikować wzajemnie (zhierarchizować) w celu określenia, w jakiej kolejności należy je wykonać.

#### PRZYKŁAD 1

##### Przedstawienie problemu

W linii zasilającej „MAXIME” (2000 odbiorców niskiego napięcia) w ciągu ostatnich trzech lat odnotowano rocznie średnio 10 przerw długich i 120 przerw bardzo krótkich. Jej wewnętrzna niezawodność jest niezła, ponieważ łączna długość linii wynosi 100 km. Nie ma na niej jakiegos szczególnie słabego punktu, gdzie kumulują się awarie i nie leży ona w strefie zagrożenia klimatycznego.

Zdecydowano o zdublowaniu jej linią „AUGUST”, wymagającą budowy kabla podziemnego na terenie więkskim, który odciąży „MAXIME” o około 50% zarówno jeżeli chodzi o liczbę odbiorców, jak i o długość. Inwestycja została wyceniona na 2200 tys. FRF. Średni czas trwania awarii wynosi 20 minut na awarię (0,33 godziny).

##### Rozwiązanie

Liczba odbiorców nn, u których dochodzi do poprawy sytuacji, wynosi 2000. Wartość oczekiwaną zysku rocznego można przedstawić w następujący sposób:

Przed wykonaniem inwestycji:	Po wykonaniu inwestycji:
$NX = 2000 \cdot 10$	$NX = 2 \cdot \frac{2000}{2} \cdot 5$
$NY = 2000 \cdot 120$	$NY = 2 \cdot \frac{2000}{2} \cdot 60$
$NT_z = 2000 \cdot 10 \cdot 0,33$	$NT_z = 2 \cdot \frac{2000}{2} \cdot 5 \cdot 0,33$
$ZYSK = N(X + 0,086Y + 2T_z) = 2000(5 + 5,16 + 3,3) = 26920$ [odbiorców · wyeliminowane wady]	

Żywotność inwestycji  $T = 40$  lat. Współczynnik zwrotu kapitału, przy obowiązującej stopie dyskontowej  $i = 8\%$ , wynosi  $a = 0,084$ , a zatem koszt roczny jest równy:

$$A_n = 2200 \text{ tys. FRF} \cdot 0,084 = 184,8 \text{ tys. FRF.}$$

W rozpatrywanym przykładzie można więc przyjąć, że wartość kryterium  $R$ , zgodnie ze wzorem (6), wynosi:

$$\text{kryterium } R = \frac{26920}{184,8} \approx 146 \text{ [odbiorców} \cdot \text{wyeliminowane wady / wydane tys. FRF]}$$

#### PRZYKŁAD 2

##### Przedstawienie problemu

Odgałęzienie „CEZAR”, długie na 8 km, w ciągu ostatnich trzech lat było źródłem 3 awarii rocznie (przerwy długie). Średnia długość awarii wynosiła 30 minut (0,5 godziny). Postawienie zabezpieczeń przed ptakami wykazało, że 30% bardzo krótkich przerw odpływu ma swoje źródło w tym odgałęzieniu (średnio 100 bardzo krótkich przerw rocznie).

Zdecydowano się na wymianę tego odgałęzienia i restrukturyzowania go zgodnie z ogólnym planem inwestycji w zakładzie. Koszt inwestycji wyceniony został na 1200 tys. FRF, a odpływ zaopatruje 1300 odbiorców niskiego napięcia.

##### Rozwiązanie

Liczba odbiorców nn, których sytuacja się polepszy po wykonaniu tej inwestycji, wynosi  $N=1300$ . Wartość oczekiwaną zysku, wynikającego z poprawy ciągłości dostaw energii elektrycznej, można obliczyć w następujący sposób:

- liczba wyeliminowanych przerw długich w ciągu roku  $X = 3$ ,
- liczba wyeliminowanych przerw bardzo krótkich w ciągu roku  $Y = 0,3 \cdot 100 = 30$ ,
- średnia liczba godzin przerw wyeliminowanych w ciągu roku  $T_z = 3 \cdot 0,5 \text{ h} = 1,5 \text{ h}$ ,
- $ZYSK = N(X + 0,086Y + 2T_z) = 1300 \cdot (3 + 2,58 + 3) = 11154$  [odbiorców · wyeliminowane wady].

Czas działania inwestycji wynosi  $T = 40$  lat, a współczynnik zwrotu kapitału  $a = 0,084$ . Zatem koszt roczny w rozpatrywanym przypadku jest równy:

$$A_n = 1200 \text{ tys. FRF} \cdot 0,084 = 101 \text{ tys. FRF}$$

Można więc przyjąć, że w tym przypadku kryterium  $R$ , zgodnie ze wzorem (6), wynosi:

$$\text{kryterium } R = \frac{11154}{101} \approx 110 \text{ [odbiorców} \cdot \text{wyeliminowane wady / wydane tys. FRF]}$$

W powyższych przykładach, przy uwzględnieniu kryterium  $R$  hierarchizacji przedsięwzięć inwestycyjnych, w pierwszej kolejności powinna zostać wykonana inwestycja z przykładu 1.

#### 4. WNIOSKI

Celem tego artykułu było przedstawienie metody hierarchizacji projektów inwestycyjnych, służących polepszeniu niezawodności dostaw energii elektrycznej. Metoda ta jest stosowana przez przedsiębiorstwa dystrybucyjne we Francji i ma za zadanie określenie optymalnego porządku wykonywania tych inwestycji. Należy sądzić, że po wprowadzeniu w Polsce nowego prawa energetycznego, w którym szczególną uwagę zwraca się na problem ciągłości dostaw energii elektrycznej, znajdzie ona, po niezbędnych zmianach, zastosowanie w rodzimych zakładach energetycznych.

Każde przedsiębiorstwo dystrybucji energią elektryczną powinno dokonać całościowej i krytycznej diagnozy istniejącego stanu swoich sieci i obiektów w celu przeanalizowania, jak różne działania przyczyniają się do poprawienia ciągłości dostaw, a szczególnie — znalezienia najskuteczniejszego sposobu skrócenia łącznego czasu przerw, związanych z niesprawnością sieci zarówno średnich, jak i niskich napięć.

Po przeprowadzeniu tej szczegółowej i krytycznej analizy osiągniętych wyników, stanu swoich sieci i obiektów, przedsiębiorstwo dystrybucyjne każdego roku planuje listę operacji do wykonania — zarówno inwestycyjnych, jak i konserwacyjnych — umożliwiających osiągnięcie celów służących poprawie niezawodności dostaw energii elektrycznej. Zhierarchizowanie tych operacji umożliwia określenie, w jakim porządku należy je realizować, żeby osiągnąć jak najwyższy zysk z zainwestowanego kapitału. Tego usystematyzowania nie można dokonać za pomocą klasycznych metod ekonomicznych oceny inwestycji elektroenergetycznych, dlatego też dla dystrybutorów energii elektrycznej zaleca się stosownie kryterium  $R$ , które pozwala ustalić priorytety wykonawcze operacji inwestycyjnych i konserwacyjnych w zależności od stosunku „zysk na usuniętych wadach · odbiorcy/roczna rata wydatków”.

Ta wewnętrzna klasyfikacja przedsięwzięć inwestycyjnych stanowi pierwszy, niezbędny, etap ułatwiania pracy decydentowi, który, uwzględniając następnie niezbędne dane zewnętrzne, ustala ostateczny plan realizacji inwestycji w swoim przedsiębiorstwie. Na zakończenie tej fazy planowania mogą zostać ustalone roczne wielkości nakładów na inwestycje i konserwacje, które są wartościami ostatecznymi i których wpływ na koszt dystrybucji energii w przedsiębiorstwie ma podstawowe znaczenie.

## LITERATURA

1. Jaczewski M.: *Wybrane metody oceny inwestycji w elektroenergetyce*. Energetyka 1994, 6, 211-218.
2. Polaczek A., Geppart A., Smajek L.: *Aktualny stan normalizacji jakości energii elektrycznej w Polsce*. JUEE 1995, 1, 1, 27-30.
3. *Qualité de fourniture et hierarchisation des actions*. EDF GDF Services, Service Technique Electricité, Courbevoie, France, 1992.
4. *Qualité de fourniture et politiques techniques*. Note GP 39. EDF GDF Services, Service Technique Electricité, Courbevoie, France, 1992.
5. Szczygieł L.: *Analyse des investissements techniques électricité au Centre EDF GDF Services Le Havre Porte Océane*. Praca dyplomowa DESS-CAAE wykonana w Institut d'Administration des Entreprises de l'Université Jean Moulin Lyon III, France, 1996.
6. Szczygieł L.: *Niezawodność dostaw energii elektrycznej z Zakładu Energetycznego w Hawrze (Francja)*. JUEE 1998, 4, 2.



### Dr inż. Leszek Szczygieł

Urodził się w 1944 r. Studia wyższe ukończył na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej w 1966 r. Po ukończeniu studiów rozpoczął pracę w Instytucie Automatyki PŁ. W roku 1975 uzyskał stopień doktora nauk technicznych z zakresu automatyki napędu elektrycznego. W latach 1987–1991 wykładał na Uniwersytecie INES de Tiaret w Algierii. W roku 1996 ukończył polsko-francuskie studia z dziedziny zarządzania, uzyskując dyplom magistra zarządzania

Uniwersytetu Łódzkiego i dyplom DESS-CAAE Uniwersytetu Jean Moulin Lyon3 (Francja). Do lipca 1998 r. pracował na stanowisku adiunkta w Instytucie Automatyki PŁ, a obecnie pracuje w Oddziale Terenowym Urzędu Regulacji Energetyki w Łodzi. Zakres jego obecnych zainteresowań to prawo konkurencji, mechanizmy rynkowe, regulacja, demonopolizacja, restrukturyzacja i prywatyzacja w przemyśle energetycznym.