

Jerzy MARZECKI
Paweł MIKOŁAJCZUK

ANALIZA ALGORYTMÓW ROZWIĄZYWANIA ZADANIA OPTYMALIZACJI WIELOETAPOWEJ PRZY BADANIU ROZWOJU STACJI 110 kV/SN

STRESZCZENIE *W artykule przedstawiono model matematyczny rozwoju stacji transformatorowo-rozdzielczej 110 kV/SN. Omówiono algorytmy rozwiązywania zadania optymalizacji wieloetapowej, przy wyznaczaniu strategii rozwoju stacji 110 kV/SN w okresie T. Przedstawiono opracowany program komputerowy oraz przykład obliczeniowy dotyczący badania rozwoju stacji 110 kV/SN pracującej w warunkach miejskich.*

Słowa kluczowe: *stacje transformatorowo-rozdzielcze 110 kV/SN, optymalizacja wieloetapowa, badanie rozwoju*

1. WSTĘP

Stacje elektroenergetyczne są jednym z najważniejszych elementów każdego systemu elektroenergetycznego. Stacje 110 kV/SN odgrywają kluczową rolę ponieważ łączą sieci przesyłowe energii elektrycznej z sieciami dystrybucyjnymi dzięki czemu w znaczący sposób mogą wpływać na ich konfigurację, czyli pracę całej sieci. W związku z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną, ważnym aspektem planowania rozwoju systemu elektroenergetycznego jest analiza algorytmów optymalizacji wieloetapowej rozwoju stacji 110 kV/SN.

dr hab. inż. Jerzy MARZECKI, prof. PW
e-mail: jerzy.marzecki@ien.pw.edu.pl

mgr inż. Paweł MIKOŁAJCZUK
e-mail: pawel.mikolajczuk@gmail.com

Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

Najważniejszym zadaniem stawianym dzisiejszej elektroenergetyce jest dostosowanie istniejącego systemu elektroenergetycznego do przyszłych wymagań odbiorców. Jedno z takich wymagań dotyczy zwiększonego zapotrzebowania na moc. Budowanie nowych stacji często jest utrudnione ze względu na zabudowę miejską. Rozbudowa obecnie istniejących stacji 110 kV/SN a w szczególności wymiana transformatorów na jednostki o większej mocy jest jednym z rozwiązań powyższego problemu. Zastosowanie algorytmów optymalizacji wieloetapowej rozwoju stacji 110 kV/SN ma bardzo duże znaczenie. Pozwala to na osiągnięcie wymaganej mocy zapotrzebowania dla systemów dystrybucyjnych w sposób optymalny.

2. MODEL MATEMATYCZNY OPTIMALNEGO ROZWOJU STACJI – CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA

Struktura stacji w roku t jest określona przez $a(t) = a(v, i, j)$ gdzie i, j oznaczają poszczególne moce pracujących transformatorów [4]. Istnieje wiele typów transformatorów które mogą w znaczący sposób różnić się parametrami pomimo tej samej mocy znamionowej dlatego zamiast typu transformatora podaje się jego moc. Ilość dostępnych struktur nie jest kombinacją dwuelementową z dostępnych mocy znamionowych transformatorów. Ze względów niezawodnościowych i eksploatacyjnych wymagane jest aby moce transformatorowe nie różniły się zbyt od siebie. W praktyce możemy spotkać jedynie stacje w których moce transformatorów różnią się maksymalnie o jedno miejsce w typoszeregu mocy transformatorów. Zbiór struktur wyraża się w następujący sposób za pomocą mocy znamionowych par transformatorów 110 kV/SN [5]: (0, 16), (16, 16), (16, 20), (20, 20), (20, 25), (25, 25), (25, 31,5), (31,5, 31,5), (32, 32), (32, 40), (40, 40), (40, 63), (63, 63), (63, 80), (80, 80). Dopuszczalne struktury numeruje się rosnąco za pomocą mocy znamionowych transformatora i dalej strukturę oznacza się używając tego numeru $a(t)$ który jednoznacznie określa moce znamionowe i inne parametry struktury. Zmienną decyzyjną jest wektor składowych następującej postaci:

$$[t_1, a_1(t), t_1, a_2(t), \dots] \quad (1)$$

gdzie:

- t_i – moment i -tej wymiany transformatora 110 kV/SN,
- $a_i(t)$ – numer struktury stacji 110 kV/SN po i -tej wymianie.

W analizowanym modelu zakłada się że struktura stacji ulega zmianie tylko na przełomie kolejnych lat a w ciągu danego roku jest stała. Takie założenie wynika z użycia w obliczeniach kosztów maksymalnych rocznych obciążenia stacji. Oznacza to że czas t jest liczbą całkowitą. Jest to najlepsze rozwiązanie dla proponowanych algorytmów.

$$d_t = a(1), a(2), \dots, a(T) \quad (2)$$

gdzie:

- d_t – wybrana strategia rozwoju stacji,
- $a(t)$ – numer struktury stacji w roku t ,
- T – okres optymalizacji.

Funkcjonał kryterialny jest pewnym przekształceniem procesu stochastycznego $S_0(t)$.

$$K(T) = K[S_0(t), d_t] \tag{3}$$

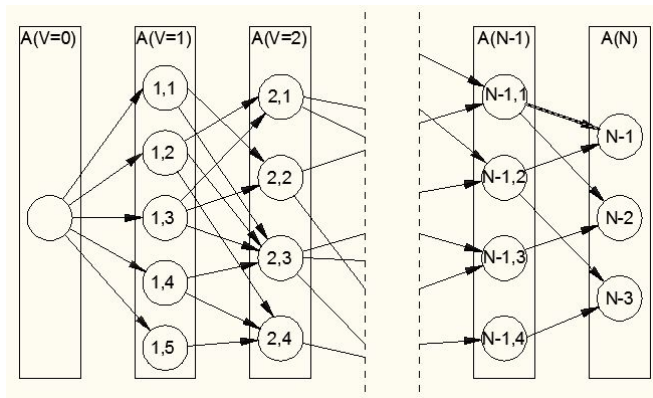
gdzie:

$S_0(t)$ – szczytowe roczne obciążenie stacji 110 kV/SN.

W zagadnieniu optymalizacji stacji 110 kV/SN wyrażenie $K(T)$ jest sumą zdyskontowanych na rok zerowy kosztów rocznych.

$$K(T) = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+p)^t} K_{rs}(t, d_t) \tag{4}$$

Obecnie w badaniach dotyczących rozwoju stacji elektroenergetycznych najczęstszym kryterium do oceny jakości rozwiązania stosuje się metodę kosztów rocznych. Ta metoda jest metodą najbardziej przydatną ze względu na optymalizację wieloetapową jak i ekonomiczne odwzorowanie elementów stacji. Większość decyzji inwestycyjnych podejmuje się w oparciu o analizę kosztów. Koszt roczny stacji oblicza się ze wzoru (6) i (7). Problem poszukiwania optymalnej strategii rozwoju stacji polega na tym, że danym okresie T należy określić optymalną strategię rozwoju stacji tj. taką kolejność struktur w poszczególnych etapach która minimalizowałaby funkcję celu. Przy programowaniu deterministycznym funkcją tą będzie suma kosztów zdyskontowanych w okresie T natomiast przy programowaniu stochastycznym wartością oczekiwaną funkcji ryzyka: maksymalne prawdopodobieństwo, minimalna wariancja itp.



Rys. 1. Graf rozwoju stacji 110 kV/SN [4]

W przypadku stacji transformatorowych 110 kV/SN wzrost obciążenia stacji powoduje konieczność jej rozbudowy a przede wszystkim wymiany transformatorów na jednostki o większej mocy znamionowej. Ponieważ zarówno z wymianą transformatorów jak i z eksploatacją stacji wiążą się określone koszty zależne szczególnie od wyboru transformatorów powstaje konieczność optymalnego zaplanowania momentów wymiany transformatorów a także wyboru nowo instalowanych jednostek w taki sposób aby spełnione zostały niezbędne ograniczenia techniczne i maksymalnie zmniejszone koszty związane z eksploatacją i rozwojem sieci. W praktyce eksploatacyjnej transformatory które zostały wycofane ze stacji lub wymienione na większe jednostki są zwykle instalowane w innych. Zadanie polega na znalezieniu optymalnej polityki rozwoju (rozbudowy) stacji w okresie T biorąc pod uwagę zadane obciążenia w poszczególnych latach. Zalecane jest stosowanie okresów $T = 5-10$ lat aby uniknąć błędów wynikających z przyjęcia czasów krótszych. Przyjmowaniu czasów dłuższych przeciwdziała zmienna w czasie stopa dyskonta oraz niepewność w określaniu przewidywanego wzrostu obciążenia.

Rozwój stacji 110 kV/SN jest procesem który przedstawia się jako sieć zorientowaną. Taka sieć charakteryzuje się strukturą warstwową, o liczbie warstw równej N_w , ponadto każdy węzeł warstwy wewnętrznej jest połączony łukiem (gałęzią) z co najmniej jednym węzłem warstwy poprzedniej i z co najmniej jednym węzłem warstwy następnej. Każdemu łukowi $[s_i(n), s_j(n+1)]$, gdzie $s_i(n)$, $s_j(n+1)$ są to stany sieci, przypisuje się wagę mającą sens oceny jakości przejścia ze stanu $s_i(n)$ do $s_j(n+1)$. W tym przypadku jest to długość łuku. Długość ta odpowiada kosztowi wymiany transformatora lub obu transformatorów 110 kV/SN w procesie rozwoju. Każde przejście z warstwy n do warstwy $n+1$ charakteryzuje się funkcją (lokalnym wskaźnikiem jakości:

$$f = F_i[s(n), s(n+1), n] \quad (5)$$

3. ALGORYTM OPTYMALIZACJI ROZWOJU RPZ PRZY OBCIĄŻENIU DETERMINISTYCZNYM

Symbol C_i^j oznacza zdarzenie, że w roku j zainstalowana została i -ta struktura typoszeregu transformatorów 110 kV/SN. W przedstawionym grafie (rys. 1.) na zbiór węzłów grafu $X = \{C_i^j\}$, składają się wszystkie dopuszczalne struktury z typoszeregu zainstalowanych transformatorów 110 kV/SN w czasie prognozy T . Łukami tego grafu są łuki początkowe (p, C_i^1) łączące dopuszczalne struktury typoszeregu w pierwszym roku badanego okresu oraz łuki końcowe (p, C_i^T) które łączą dopuszczalne struktury w ostatnim roku rozpatrywanego okresu T . Ponadto łuki (C_i^j, C_k^{j+1}) opisują możliwy rozwój stacji w dowolnym j -tym roku. W przypadku gdy mamy $C_i^j = C_k^{j+1}$ oznacza to brak wymiany w $j+1$ roku. Zaś przypadek wymiany transformatora oznaczymy w sposób $C_i^j \neq C_k^{j+1}$. W tak skonstruowanym grafie drogi $d(p, k)$ łączące punkt początkowy p z punktem końcowym k są rozpatrywanymi decyzjami $d(\cdot)$, uwzględniającymi warunki techniczne $d(\cdot) \in D \cap D_T$. Długość łuku $d_i(\cdot)$ z przyporządkowaną liczbą

dodatnią pozwala otrzymać strukturę $S = (X, \mathcal{L}, d_t)$ zwaną siecią. Jednym z wielu zadań programowania sieciowego jest poszukiwanie minimalnej drogi w sieci, a więc takiej $d_0(p, k)$ łączącej węzły (p, k) , że:

$$d[d_0(p, k)] = \min_{a(p, k) \in G} d[d_0(p, k)] \quad (6)$$

Długość minimalnej drogi jest równa minimalnemu kosztowi rozwoju badanej struktury stacji 110 kV/SN. Minimalna droga wyznacza rozwiązanie optymalne zadania rozwoju stacji w przypadku obciążenia deterministycznego z założeniem obciążeń dopuszczalnych.

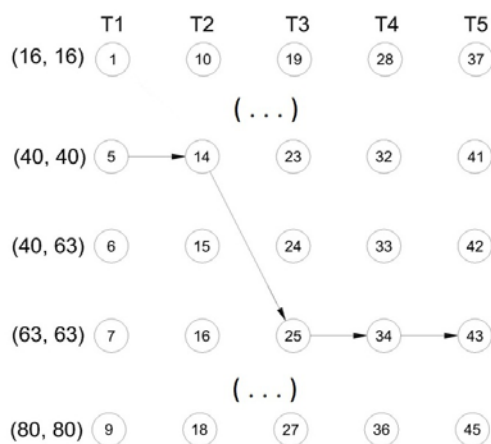
4. PORÓWNANIE EFEKTYWNOŚCI DZIAŁANIA ALGORYTMÓW

Problem optymalizacji wieloetapowej zadania rozwoju stacji 110 kV/SN jest procesem bardzo złożonym. Zależy on od bardzo wielu czynników. Wyniki działania zadanego algorytmu przy tak dużej ilości danych wejściowych nie mogą być traktowane jako wyniki pewne. Mogą natomiast dać wiele cennych informacji dotyczących analizowanego problemu, które będą w stanie pomóc w podjęciu optymalnej z punktu widzenia zadanego kryterium decyzji. Głównym czynnikiem wpływającym na efektywność przedstawionych algorytmów optymalizacyjnych jest prognoza obciążeń stacji transformatorowych 110 kV/SN. Wybór odpowiedniej metody znacznie zwiększa efektywność wykonywanych przez algorytm obliczeń co przekłada się w znacznym stopniu na jakość oraz trafność wyników. Po przeanalizowaniu algorytmów optymalizacji wieloetapowej, a także rozpatrzeniu przykładów obliczeniowych i literatury omawianego przedmiotu należy stwierdzić, iż za najbardziej efektywny przy wyznaczaniu optymalnej strategii rozwoju stacji transformatorowo-rozdzielczej 110 kV/SN okazał się algorytm postępowania wstecz. Zalety tego algorytmu ujawniają się głównie przy analizowaniu przypadków o dużej liczbie węzłów co powoduje, że jest on bardzo dogodny w badaniu rozwoju stacji 110 kV/SN. Elementy stacji takie jak: budynek stacji, rozdzielnia SN, rozdzielnia 110 kV, muszą zostać wybudowane na początku czyli w pierwszym etapie istnienia osiedla lub dzielnicy miasta i powinny wystarczyć na okres co najmniej 20 lat. W związku z tym proces badania rozwoju zaczyna się od końca. Zastosowanie tej techniki pozwala na duże ograniczenie liczby badanych strategii co powoduje znaczne skrócenie czasu obliczeń.

Nie można jednoznacznie stwierdzić, który z algorytmów badania rozwoju stacji jest najlepszy. Dobór prawidłowej metody i prawidłowego kryterium zależy głównie od rodzaju zadania optymalizacyjnego. Przy podejmowaniu decyzji nie wystarcza zastosowanie tylko jednego z nich. Rozważanie optymalności rozwiązania wymaga uwzględnienia różnych kryteriów oraz ich wnikliwej interpretacji. Ostateczna decyzja powinna polegać na wyborze jednego z spośród kilku zaproponowanych wariantów.

5. OPRACOWANIE PROGRAMU KOMPUTEROWEGO DO OBLICZEŃ ROZWOJU STACJI

Program komputerowy „ROZWÓJ PM” [6] został napisany w języku programowania C++. Aplikacja wykorzystuje metodę optymalizacji opartą o wykorzystanie algorytmu Dijkstry. Mając dany graf rozwoju z wyróżnionymi wierzchołkami (rys. 2).



Rys. 2 Graf rozwoju stacji dla przykładu obliczeniowego [6]

Algorytm znajduje odległości od źródła czyli stanu stacji w roku 0 do wszystkich pozostałych wierzchołków. Do każdego przejścia przypisany jest odpowiedni koszt przejścia. Koszty przejścia jest to suma kosztów związanych z wymianą transformatora 110 kV/SN. Algorytm zmodyfikowany jest tak, aby szukał wyłącznie najkrótszej (najtańszej) ścieżki do jednego ustalonego wierzchołka, przerywając działanie w momencie dojścia do wierzchołka docelowego. Algorytm Dijkstry znajduje w grafie wszystkie najkrótsze ścieżki pomiędzy wybranym wierzchołkiem a wszystkimi pozostałymi, przy okazji wyliczając również koszt przejścia każdej z tych ścieżek. Dane do obliczeń są pobierane z plików wejściowych w formacie tekstowym. Parametrami wejściowymi są min.: koszty stałe, koszty zmienne oraz obciążenia stacji. Dodatkowo definiuje się wartość stopy dyskonta wykorzystywanej do obliczania kosztów zdyskontowanych oraz parametr określający obciążalność transformatorów. W przykładzie obliczeniowym założono stopę dyskonta na poziomie 8% oraz współczynnik obciążenia transformatorów na poziomie 50%.

TABELA 1

Obciążenia i struktura stacji w poszczególnych latach [6]

Lata	1	2	3	4	5
Obciążenia [MVA]	33	39	52	55	60
Struktura stacji [MVA, MVA]	(40,40)	(40,40)	(63,63)	(63,63)	(63,63)

Przykład obliczeniowy został rozwiązany zarówno metodą klasyczną jak i przy pomocy opisywanego programu. Zakładając typowe rozwiązania techniczne stacji 110 kV/SN oraz ich koszty otrzymano następujące wyniki obliczeń kosztów strategii

rozwoju RPZ (tab. 2, 3, 4). Koszty stałe stacji w poszczególnych latach wyrażone są wzorem:

$$K_{ST} = K_b p_b + K_R p_{RS} + K_{I1}(t) p_t + K_{I2}(t) p_t + K_w p_t \tag{7}$$

gdzie: K_b – koszty budynku stacji 110 kV/SN, p_b – stopa odpisów na koszty stałe dla budynku stacji, K_R – koszt stały rozdzielni SN niezależny od liczby odejść SN, p_{RS} – stopa odpisów dla rozdzielni SN, K_w – koszt rozdzielni 110 kV, p_t – stopa odpisów na koszty stałe dla stacji 110 kV/SN, $K_{I1}(t)$ – koszt inwestycyjny pierwszego transformatora 110 kV/SN na etapie t , $K_{I2}(t)$ – koszt inwestycyjny drugiego transformatora 110 kV/SN na etapie t .

TABELA 2
Koszty stałe stacji w tys. zł [6]

Rok	K_b	p_b	K_R	p_{RS}	K_w	p_t	K_{I1}	K_{I2}	K_{ST}
1	3200	0,11	1685	0,12	5010	0,2	1150	1150	2016,20
2							1150	1150	2016,20
3							1400	1400	2116,20
4							1400	1400	2116,20
5							1400	1400	2116,20

Roczne koszty zmienne stacji na etapie t składają się z kosztów strat mocy i energii w transformatorze 110 kV/SN. Oblicza się je ze wzoru:

$$K'_{ZT}(t) = \left[\frac{S(t)}{S_{n1}(t)} \right]^2 (\Delta P_{01} + k_e \Delta Q_{01}) k_{\Delta P01} + (\Delta P_{j1} + k_e \Delta Q_{j1}) k_{\Delta Pj1} \tag{8}$$

$$K''_{ZT}(t) = \left[\frac{S(t)}{S_{n2}(t)} \right]^2 (\Delta P_{02} + k_e \Delta Q_{02}) k_{\Delta P02} + (\Delta P_{j2} + k_e \Delta Q_{j2}) k_{\Delta Pj2} \tag{9}$$

gdzie: K'_{ZT} – koszt zmienny pierwszego transformatora w etapie t [tys. zł], K''_{ZT} – koszt zmienny drugiego transformatora w etapie t [tys. zł], $S(t)$ – obciążenie transformatorów w etapie t [tys. zł], $S_{n1}(t)$, $S_{n2}(t)$ – moce znamionowe transformatorów w etapie t [tys. zł], ΔP_{01} , ΔP_{02} – znamionowe straty obciążeniowe mocy czynnej w transformatorach [kW], ΔP_{j1} , ΔP_{j2} – znamionowe straty jałowe mocy czynnej w transformatorach [kW], Q_{01} , Q_{02} – znamionowe straty obciążeniowe mocy biernej w transformatorach [kvar], Q_{j1} , Q_{j2} – znamionowe straty jałowe mocy biernej w transformatorach [kvar], k_e - równoważnik energetyczny mocy biernej dla transformatorów 110 kV/SN.

TABELA 3

Koszty zmienne stacji w tys. zł [6]

Rok	$S(t)$	$S_n(t)$	ΔP_0	ΔP_j	ΔQ_0	ΔQ_j	k_e	$k_{\Delta P_0}$	$k_{\Delta P_j}$	K_Z
1	40	16,5	150	27,5	2500	150	0,05	284,25	603,95	34,44
	40	16,5	150	27,5	2500	150				34,44
2	40	19,5	150	27,5	2500	150				39,72
	40	19,5	150	27,5	2500	150				39,72
3	63	26	150	27,5	2500	150				34,45
	63	26	150	27,5	2500	150				34,45
4	63	27,5	150	27,5	2500	150				36,03
	63	27,5	150	27,5	2500	150				36,03
5	63	30	150	27,5	2500	150				38,86
	63	30	150	27,5	2500	150				38,86

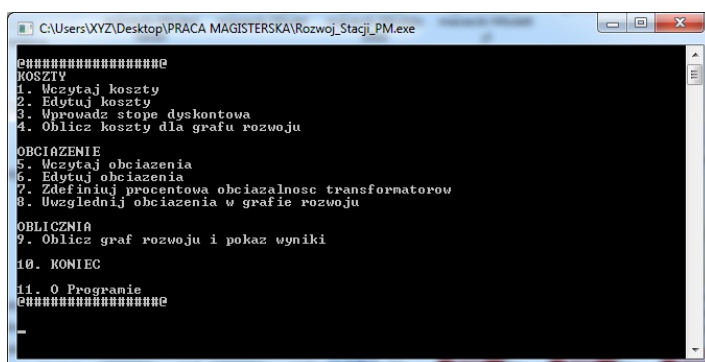
Koszt całkowity jest sumą kosztów stałych i zmiennych. Koszt całkowity zdyskontowany jest sumą kosztów stałych i zmiennych zdyskontowanych.

TABELA 4

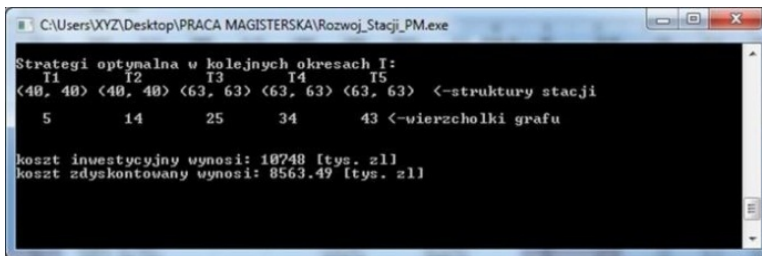
Koszty całkowite stacji i zdyskontowane w tys. zł [6]

	Lata					suma [tys. zł]
	1	2	3	4	5	
K_T	2085,08	2095,63	2185,10	2188,26	2193,93	10748,01
K_d	1930,63	1796,67	1734,61	1608,44	1493,15	8563,49

Powyższe dane oraz algorytmy wykorzystywane do obliczeń zostały zaimplementowane w programie komputerowym [6]. Rysunek 3 przedstawia menu początkowe programu komputerowego. Wykonując operacje wczytywane są pliki wsadowe zawierające koszty, zadane obciążenia oraz zdefiniowaną stopę dyskonta oraz obciążenie maksymalne transformatorów. Ostatnim krokiem jest wykonanie obliczeń grafu rozwoju stacji oraz wyświetlenie wyników.

**Rys. 3.** Menu tekstowe programu komputerowego [6]

Rysunek 4 przedstawia wynik działania programu które pokrywają się z wynikami otrzymanymi za pomocą metody tradycyjnej. Główną zaletą wykorzystania metod komputerowych do analizy rozwoju stacji 110 kV/SN jest znaczne przyspieszenie wymaganych obliczeń dla różnych rozpatrywanych wariantów. Wykorzystując program komputerowy [6] możemy w znaczący sposób zwiększyć ilość i różnorodność danych wykorzystywanych do symulacji oraz przeprowadzać analizy rozwoju stacji 110 kV/SN dla okresów dłuższych niż $T = 5$ lat.



```
C:\Users\XYZ\Desktop\PRACA MAGISTERSKA\Rozwoj_Stacji_PM.exe
Strategii optymalna w kolejnych okresach I:
T1 T2 T3 T4 T5
<40, 40> <40, 40> <63, 63> <63, 63> <63, 63> <-struktury stacji
5 14 25 34 43 <-wierzchołki grafu
koszt inwestycyjny wynosi: 10748 [tys. zł]
koszt zdyskontowany wynosi: 8563.49 [tys. zł]
```

Rys. 4. Wyniki obliczeń programu komputerowego [6]

6. PODSUMOWANIE

W analizach sieci rozdzielczych, stacji elektroenergetycznych do badania dalszego ich rozwoju powinno wykorzystywać się metody optymalizacji wieloetapowej. Bardzo ważnym elementem wpływającym na wynik i jakość obliczeń jest prognoza obciążeń stacji transformatorowych 110 kV/SN.

Ważną rolę odgrywa tu metoda symulacyjna prognozowania obciążeń sieci elektroenergetycznych. Posiada ona wiele zalet nad pozostałymi metodami prognozy. Dokładność takiej prognozy pozwala prawidłowo określić koncepcję rozwoju badanej stacji 110 kV/SN.

Najbardziej efektywnym algorytmem w wyznaczaniu strategii rozwoju stacji spośród przeanalizowanych wariantów jest algorytm postępowania wstecz. Zaletami tego algorytmu jest możliwość zastosowania go do sieci o dużej ilości węzłów oraz skrócony czas obliczeń w przypadku nowobudowanych stacji 110 kV/SN.

Innym ważnym aspektem planowania jest metoda wyboru rodzaju rozwiązania stacji 110 kV/SN. Obecnie bardzo powszechne jest stosowanie rozdzielni typu GIS z gazem SF₆. Rozdzielnie tego typu posiadają wiele zalet nad rozdzielniami napowietrznymi.

Nie można jednoznacznie stwierdzić, który z opisanych algorytmów badania rozwoju stacji jest najlepszy. Dobór prawidłowej metody i prawidłowego kryterium zależy głównie od rodzaju zadania optymalizacyjnego. Przy podejmowaniu decyzji nie wystarcza zastosowywanie tylko jednego z nich. Rozważanie optymalności rozwiązania wymaga uwzględnienia różnych kryteriów oraz ich wnikliwej interpretacji. Ostateczna decyzja powinna polegać na wyborze jednego z kilku zaproponowanych wariantów rozwoju stacji 110 kV/SN.

Opracowany program komputerowy okazał się bardzo przydatny do analizy różnych wariantów rozwoju stacji 110 kV/SN i znacznie skraca czas związany z wyznaczeniem strategii rozwoju stacji typu RPZ w stosunku do metod tradycyjnych.

LITERATURA

1. Balzer G., Neumann C.: Asset simulation and life cycle assessment for gas insulated substation, CIGRE, Germany, 2011.
2. Dołęga W.: Stacje elektroenergetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.
3. Hinow M., Waldron M., Müller L.: Substation life cycle cost management supported by stochastic optimization algorithm, Heinz Aeschbach, Karsten Pohlink AREVA T&D AG, 2008.
4. Marzecki J.: Algorytmy obliczeniowe rozdzielczych sieci elektroenergetycznych, Instytut Technologii i Eksploatacji PIB, Warszawa 2007.
5. Marzecki J.: Planowanie rozwoju miejskich Rozdzielczych Punktów Zasilających (RPZ) w warunkach ryzyka, Przegląd Elektrotechniczny, nr 2/2014.
6. Mikołajczuk P.: Analiza algorytmów rozwiązywania zadań optymalizacji wieloetapowej rozwoju stacji 110 kV/SN, Praca dyplomowa, Wydział Elektryczny, Politechnika Warszawska, Warszawa, 2014.
7. Seifi H., Sepasian M. S.: Electric Power System Planning, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.

Przyjęto do druku dnia 19.10.2015 r.

ANALYSIS OF ALGORITHMS FOR SOLVING THE OPTIMIZATION PROBLEM WITH MULTI-STAGE DEVELOPMENT IN 110 kV/MV SUBSTATION

Jerzy MARZECKI, Paweł MIKOŁAJCZUK

ABSTRACT *The paper presents a mathematical model for the development of the distribution transformer station of 110 kV/MV. Optimization algorithms to solve multi-step task in determining the development strategy of the 110 kV/MV substation in period T is applied. The elaborated computer program that employs this method has been presented. Results of calculations concerning the 110 kV/MV substation that operates in urban areas have been presented as well.*

Keywords: *transformer substation, multi-stage optimization, development analysis*

Dr hab. inż. Jerzy MARZECKI, prof. PW – profesor nadzwyczajny w Instytucie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Zainteresowania: sieci elektroenergetyczne, analizy techniczno-ekonomiczne, strategie rozwoju. Jest autorem lub współautorem 14 podręczników akademickich (9 indywidualnych), 5 samodzielnych monografii i 2 skryptów wydanych przez Oficynę Wydawniczą Politechniki Warszawskiej. W swoim dorobku naukowym posiada: 71 artykułów naukowych i 34 referaty wygłoszone na konferencjach krajowych i międzynarodowych, Brał udział w ponad 70 pracach naukowo-badawczych wykonywanych dla elektroenergetyki i telekomunikacji.



Mgr inż. Paweł MIKOŁAJCZUK – doktorant w Instytucie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Zainteresowania: sieci elektroenergetyczne, analizy techniczno-ekonomiczne, strategie rozwoju, eksploatacja sieci i transformatorów.

