

**Piotr PAPLICKI¹, Sławomir SZADKOWSKI²,
Piotr CIERZNIEWSKI¹, Marcin WARDACH¹**

Zachodniopomorskie Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Elektroenergetyki
i Napędów Elektrycznych (1)
ENEA Operator Sp. z o.o., Rejon Dystrybucji Świebodzin (2)

Techniczno-ekonomiczne aspekty doboru stacji transformatorowo-rozdzielczych

Abstract. *The paper presents technical and economic aspects of the selection HV-LV transformer station on the example of the expansion of a manufacturing plant. The basis of the analysis accounted for substation projects in two variants technically equivalent. The economic analysis was based on efficiency calculations of investment and included, in addition to capital expenditure, including annual cost of power losses and cost of energy.*

Keywords: transformer station, efficiency calculations, economic analysis

Wstęp

Przystępując do projektowania stacji transformatorowej należy, między innymi, wyznaczyć jej miejsce w systemie elektroenergetycznym, określić funkcję, jaką ma pełnić obecnie, jak i w przyszłości. Określając parametry techniczne budowanej stacji należy określić wskaźniki ekonomicznej efektywności inwestycji. Na ich podstawie podejmowane są decyzje inwestycyjne. Są to, między innymi typ stacji i miejsce jej położenia w instalacji odbiorczej. Znalezienie optymalnego rozwiązania jest często trudne i wymaga dogłębnej analizy ekonomicznej i technicznej.

Przy wyborze rozwiązania stacji transformatorowej bierze się pod uwagę kilka czynników tj. między innymi: lokalizację stacji i związane z tym długości obwodów niskiego napięcia, które winny być jak najkrótsze; rodzaj i zabudowę terenu; rodzaj sieci SN i nn, z którą ma być powiązana stacja.

Aspekty ekonomiczne doboru stacji:

Przy doborze stacji bierze się pod uwagę zarówno koszty inwestycyjne jak i eksploatacyjne. Koszty budowy stacji transformatorowej, linii i instalacji elektroenergetycznych stanowią zasadnicze koszty ponoszone od momentu podjęcia decyzji o budowie do momentu przekazania danej stacji do eksploatacji. Na koszty eksploatacyjne składają się głównie: koszty zakupu energii elektrycznej oraz koszty strat energii. Proporcje tych kosztów bywają często zasadniczo różne. Warto je analizować nie tylko na etapie budowy, ale również w kontekście wieloletniej eksploatacji.

Stacja transformatorowa SN/nn musi być tak zaprojektowana, aby zapewnić odpowiednią jakość dostarczanej odbiorcom energii elektrycznej, przy jak najmniejszych kosztach. O jakości energii decydują m.in.: odpowiedni poziom i zawartość harmoniczných napięć, częstotliwość, symetria napięć zasilających. Stacja ma być elastyczna, tzn. powinna łatwo przystosować się do zasilania nowych odbiorów

i wzrastających istniejących obciążeń. Powinna być możliwie prosta i przejrzysta oraz zapewniać bezpieczeństwo obsłudze i jej użytkownikom.

Przy wyborze rozwiązania stacji transformatorowej SN/nn należy wziąć pod uwagę:

- lokalizację stacji i związaną z tym długość obwodów nn, które winny być jak najkrótsze,
- rodzaj i zabudowę terenu,
- rodzaj sieci SN i nn, z którą ma być powiązana stacja, aby określić wariant zasilania stacji i sposób wyprowadzenia obwodów nn,
- moc transformatora w zależności od istniejących lub przewidywanych warunków obciążeń elektrycznych,
- wymogi inwestora i warunki eksploatacji decydujące o wyposażeniu strony SN i nn stacji.

Po określeniu ww. czynników można dokonać wyboru rodzaju stacji (kompaktowa lub słupowa), uwzględniając również aspekty estetyczne oraz dostosowanie do warunków zabudowy i zagospodarowania terenu, a także określić wariant podejścia linii do stacji (napowietrznie lub kablowo).

Aspekty techniczne doboru stacji związane są z:

- rodzajem stacji – krańcowa, przelotowa, abonencka,
- typem stacji – słupowa, podziemna, kontenerowa, wewnętrzna,
- typem rozdzielni SN w izolacji – powietrznej, SF6, mieszanej,
- liczbą pól w rozdzielni SN – liniowych, transformatorowych, pomiarowych,
- sposobem zabezpieczenia transformatora po stronie SN – bezpieczniki topikowe (do 100kVA), wyłączacze nadprądowe zwłoczne i bezzwłoczne,
- sposobem zabezpieczania transformatora po stronie nn – wielkość wkładek topikowych o charakterystyce gTr,
- typem transformatora – żywiczny, olejowy, o stratach standardowych/obniżonych, grupa połączeń, zapas mocy, wymiary, ciężar, maksymalna moc,
- wartością napięcia SN i nn,
- typem rozdzielni nn – zasilanie (kabel lub szyny) podłączenie od góry lub od tyłu rozdzielni do odpowiednio przygotowanych szyn, prąd znamionowy ciągły szyn zbiorczych i obwodu liniowego,
- układem pomiarowym – półpośredni, pośredni,
- sposobem wprowadzenia linii SN i nn,
- stopniem ochrony IP.

Koszty inwestycyjne budowy stacji transformatorowej, linii i instalacji, wydatkowane w okresie budowy, stanowią wszystkie koszty ponoszone od momentu podjęcia decyzji o budowie do momentu przekazania danej stacji do normalnej pracy. Na koszty te składają się między innymi:

- koszty materiałów (stacji transformatorowej, przewodów linii, słupów, kabli, osprzętu oraz innych elementów i materiałów),
- koszty związane z budową (pracy sprzętu użytego przy budowie stacji, planowania robót i zatrudnienia personelu),
- koszty planowania i koszty administracyjne (np. opracowania dokumentacji projektowej).

Na koszty eksploatacyjne składają się:

- koszty zakupu energii elektrycznej związane również z kosztami na pokrycie strat energii (inaczej koszty strat energii), którą wyznacza się na podstawie: jednostkowej rezystancji przewodów, przewidywanego zapotrzebowania mocy i energii przez odbiorców zasilanych przez analizowane przewody,
- koszty związane z utrzymaniem (konserwacją), remontami i obsługą pracującej już stacji transformatorowej,

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

- koszty zawodności układu (inaczej koszty niedostarczonej energii). Energia niedostarczona w wyniku awarii zasilania wyznaczana jest na podstawie współczynnika awaryjności danego elementu sieci elektroenergetycznej, który uwzględnia przeciętną statystyczną liczbę awarii elementu w ciągu roku i średni czas trwania awarii. Natomiast koszty strat określane są na podstawie wartości strat, które poniesie odbiorca w wyniku nie dostarczenia mu energii.

Na przykładzie budowanego pewnego zakładu produkcyjnego poddano analizie dwa możliwe warianty, równoważne technicznie, rozwiązań stacji transformatorowej o mocy 630 kVA z liniami zasilającymi SN. Wariant I zakładał zabudowę stacji transformatorowej wewnątrz budynku produkcyjnego. W tym przypadku straty mocy były liczone dla wewnętrznej instalacji elektrycznej na odcinku od rozdzielni głównej RG do poszczególnych tablic rozdzielczych.

Zaletą takiego rozwiązania jest brak budowy linii zasilającej niskiego napięcia. Umieszczenie stacji transformatorowej blisko odbiorników pozwala na zmniejszenie przekrojów przewodów instalacji odbiorczej, z uwagi na mniejszy spadek napięcia. Zmniejsza, to tym samym koszty inwestycyjne. Jednak zmniejszenie przekrojów przewodów, w tym przypadku, zwiększa straty energii – eksploatacyjne. Wadą umiejscowienia stacji transformatorowej w pomieszczeniu budynku jest potrzeba wydzielenia dla niej miejsca np. na hali, piwnicy itp. Miejsce posadowienia stacji wewnętrznych – pomimo, że producenci deklarują bezpieczne ich wykonanie dla osób postronnych – nie może być jednak dobrowolne np. na trasach komunikacyjnych lub miejscach przeładunkowych czy magazynowych. Ukrytym kosztem budowy tego typu stacji staje się koszt budowy czy zajęcia powierzchni użytkowych budynku, które bywają często znaczące.

Wariant II rozważał zabudowę, na zewnątrz, wolnostojącej stacji transformatorowej kontenerowej wraz z linią kablową nn 0,4 kV od stacji transformatorowej do rozdzielni głównej RG. Przyjęto, zgodnie z branym pod uwagę scenariuszem, usytuowanie stacji w odległości 100 m od głównej rozdzielni RG budynku. W tym przypadku straty mocy obliczano na odcinku stacja transformatorowa - rozdzielnia główna RG oraz rozdzielnia główna RG - poszczególne tablice rozdzielcze.

Zaletą takiego rozwiązania jest bezpieczeństwo, dostęp i komfort obsługi, zwarta zabudowa, niewielkie wymiary i waga stacji. Ważnym aspektem takiego rozwiązania jest także szybki montaż i estetyczny wygląd stacji. Wadą natomiast stacji kontenerowej jest umiejscowienie jej w dalszej odległości od głównych odbiorników. Wymusza to budowę linii zasilających niskiego napięcia o znacznych przekrojach kabli. Spadek napięcia, który powstaje na odcinku sieci, rozkłada się na instalację wewnętrzną i zewnętrzną. Dodatkowy spadek napięcia na zewnętrznej linii zasilającej narzuca zwiększenie przekrojów przewodów w instalacji wewnętrznej.

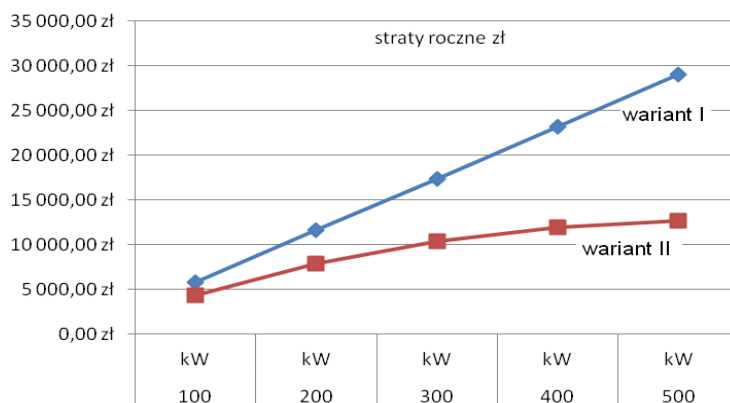
Analiza techniczno-ekonomiczna rozpatrywanych stacji zebrana w tabeli 1-2 pokazała, że zabudowa stacji transformatorowej wewnętrznej pod względem inwestycyjnym jest tańsza, natomiast eksploatacyjnym droższa. Zabudowa kontenerowej stacji transformatorowej pod względem inwestycyjnym jest droższa, a eksploatacyjnym tańsza. Jednakże ostateczna decyzja wyboru stacji zależy także od odpowiedzi na kilka stawianych pytań: czy montaż stacji odbywać się będzie w istniejącym czy projektowym budynku, czy w istniejącym budynku jest możliwość wygospodarowania odpowiedniej ilości miejsca na umiejscowienie stacji, czy będzie to miało bezpośredni wpływ na koszty przebudowy budynku; czy koszty budowy nowego budynku wraz z umiejscowieniem stacji wewnątrz będą wyższe od kosztów postawienia stacji kontenerowej. Ostateczna decyzja należy do inwestora.

Tablica 1. Porównanie szacowanych kosztów budowy i eksploatacji stacji transformatorowej w dwóch wariantach posadowienia.

Miejsce posadowienia	Stacja transformatorowa 630 kVA	
	wewnątrz obiektu-wariant I	na zewnątrz obiektu-wariant II
Koszty inwestycyjne		
Koszt zakupu stacji transformatorowej -	174 500 zł (transformator suchy –żywiczny)	171 000 zł (transformator olejowy)
Koszt budowy linii kablowej nn	0	163 308 zł
Koszty budowy linii kablowej SN	24 771 zł	0
Wartość przewodów	656 311 zł	798 461 zł
Razem koszty inwestycyjne	855 582 zł	1 132 769 zł
Koszty eksploatacyjne		
Koszt przesyłu mocy linią niskiego napięcia	0	974 zł miesięczne 11 698 zł roczne 116 982 zł 10 letnie
Koszt przesyłu instalacją elektryczną	2 420 zł miesięczne 29 004 zł roczne 290 416 zł 10-cio letnie	1057 zł miesięczne 12 695 zł roczne 126 953 zł 10-cio letnie
Razem eksploatacja	290 416 zł	243 935 zł
Razem poniesione nakłady	1 145 998 zł	1 376 704 zł

Tablica 2. Straty na kablu nn 0,4 kV na odcinku od stacji transformatorowej do RG w budynku dla wariantu I oraz w instalacji elektrycznej na odcinku od RG do rozdzielnic budynku dla wariantu II.

Moc pobierana [kW]	Wariant I		Wariant II	
	straty roczne [zł]	starty w okresie 10 lat [zł]	straty roczne [zł]	starty w okresie 10 lat [zł]
100	467,93	4 679,29	4 410,79	44 107,91
200	1 871,72	18 717,17	7 885,72	78 857,23
300	4 211,36	42 113,63	10 424,80	104 247,97
400	7 486,87	74 868,68	12 028,01	120 280,12
500	11 698,23	116 982,31	12 695,37	126 953,69



Rys. 1. Porównanie rocznych kosztów eksploatacji stacji w wariantach I i II w zależności od mocy pobieranej.

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Podsumowanie

Na przykładzie budowanego pewnego zakładu produkcyjnego dokonano porównania dwóch wariantów, równoważnych technicznie, rozwiązań stacji transformatorowej o mocy 630 kVA z liniami zasilającymi SN. Na podstawie warunków technicznych oraz sporządzonych projektów rozbudowy sieci elektroenergetycznej zakładu przemysłowego, stanowiących podstawę analizy techniczno-ekonomicznej, porównano koszty budowy i eksploatacji stacji transformatorowej kontenerowej i wewnętrznej zabudowanej w budynku produkcyjnym. Przytoczona analiza ekonomiczna wykazała, że przy wyborze stacji transformatorowych należy wziąć pod uwagę również czynniki techniczno-ekonomiczne związane ze stratami energii elektrycznej, które silnie wpływają na koszty budowy i eksploatacji stacji transformatorowych. Istnieje możliwość zrównania strat energii dla obydwu, analizowanych w artykule, wariantów stacji – np. poprzez zwiększanie przekrojów przewodów/kabli w instalacji dla stacji wewnętrznej, ale wymaga to od projektanta, nie tylko doboru tych przekrojów ze względu na obciążalność prądową długotrwałą czy dopuszczalny spadek napięcia, ale również ze względu na zakładane straty eksploatacyjne.

Literatura

1. Niewiedział Elżbieta, Niewiedział Ryszard, *Ekonomika stacji elektroenergetycznych SN-nn na terenach wiejskich*, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 10/2006
2. Szadkowski Sławomir, *Dobór stacji transformatorowo-rozdzielczych SN/nn*, praca dyplomowa, Wydział Elektryczny, ZUT w Szczecinie, 2011.

Autorzy: dr inż. Piotr Paplicki; Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: paplicki@zut.edu.pl;

dr inż. Piotr Cierzniewski, Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: cierz@zut.edu.pl;

dr inż. Marcin Wardach, Katedra Elektroenergetyki i Napędów Elektrycznych, Wydział Elektryczny, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, e-mail: marwar@zut.edu.pl;

mgr inż. Sławomir Szadkowski, student Wydziału Elektrycznego ZUT w Szczecinie, ENEA Operator Sp. z o.o., Rejon Dystrybucji Świebodzin, ul. Sobieskiego 27, 66-200 Świebodzin, e-mail: sławomir.szadkowski@zgora.operator.enea.pl.