

## WYBÓR FUNKCJI PRZYNALEŻNOŚCI DLA WYSZUKIWANIA LOKALIZACJI DODATKOWYCH ŹRÓDEŁ MOCY BIERNEJ METODĄ ZBIORÓW ROZMYTYCH – REFERAT KONFERENCYJNY

Artur ZBRŃSKI<sup>1</sup>

1. Politechnika Gdańska, Katedra Elektroenergetyki.  
tel: 58 347 26-63 fax: 58 347 18 98 e-mail: a.zbronski@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** Referat przybliża tematykę wyboru lokalizacji dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym. Opisywana jest metoda wyboru lokalizacji przy pomocy optymalizacji z wykorzystaniem logiki rozmytej, przy szczególnym zwróceniu uwagi na wybór funkcji rozmywających stosowanych do wnioskowania. Przedstawione są wyniki stosowania metody w przykładowym systemie elektroenergetycznym.

**Słowa kluczowe:** Kompensacja mocy biernej, optymalizacja, zbiory rozmyte.

### 1. WSTĘP

W celu zapobiegania awariom napięciowym systemu elektroenergetycznego stosuje się szereg różnych środków. Jednym z nich jest umieszczanie w niewrażliwych węzłach sieci dodatkowych źródeł mocy biernej, których celem jest zwiększenie stabilności napięciowej obszaru w którym są zainstalowane, zapewnienie szybszej odbudowy systemu po wystąpieniu awarii, a także zmniejszenie przesyłu mocy biernej, co skutkuje zmniejszonymi stratami przesyłowymi.

Planowanie rozwoju sieci jest zagadnieniem optymalizacyjnym, przy którym korzysta się z systemów sztucznej inteligencji i systemów eksperckich, ułatwiających podejmowanie decyzji oraz pozwalających uzyskać zadowalające rozwiązania.

W przyjętej do badań w tym referacie metodzie, optymalizującej lokalizację dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym, do wnioskowania korzysta się z logiki rozmytej. Zaproponowana w latach 60 zeszłego wieku przez L. Zadeha, logika rozmyta rezygnuje z prostego tradycyjnego przyporządkowania (element należy do zbioru, bądź nie należy), dzięki czemu pozwala na przedstawienie pewnych nieprecyzyjnych pojęć w postaci numerycznej. W logice tej, przyjmuje się że pomiędzy stanami 0 a 1 znajdują się pewne wartości pośrednie, które określają stopień przynależności danego elementu do zbioru. Funkcje, określające stopień przynależności nazywa się funkcjami przynależności.

Wybór funkcji przynależności jest bardzo ważnym elementem konstruowania metody optymalizacyjnej wyko-

rzystującej zbioru rozmyte. Do doboru właściwej funkcji korzysta się z posiadanej wiedzy eksperckiej, czyli w sposób subiektywny. Niewłaściwy dobór funkcji może skutkować niewiarygodnymi wynikami.

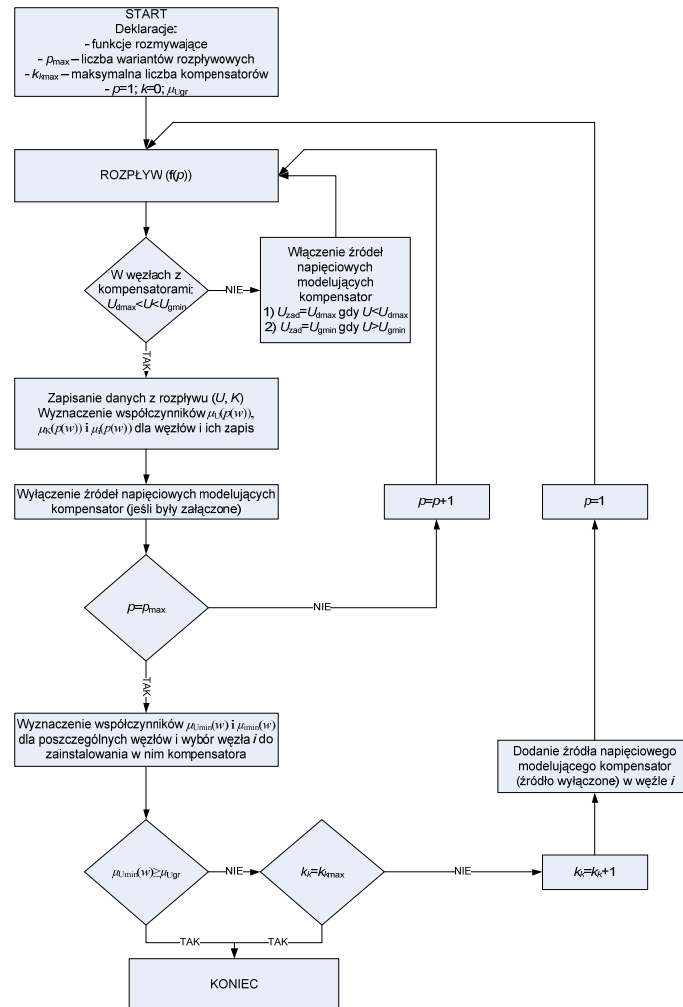
### 2. PROPONOWANA METODA LOKALIZACJI KOMPENSATORÓW W SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

Przy omawianiu problematyki rozmieszczania dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym, wyróżnić można trzy podstawowe zagadnienia. Pierwszym jest określenie lokalizacji kompensatora, czyli wskazanie węzła, bądź węzłów, w których wskazane jest zainstalowanie dodatkowego źródła mocy biernej ze względu na polepszenie warunków stabilności napięciowej, poprawę profili napięciowych bądź ograniczenie strat przesyłowych. Drugim wyróżnionym zagadnieniem jest określenie rodzaju źródła, które należy zainstalować w danym węzle, na podstawie określonego celu regulacji. Może być to najprostsza bateria kondensatorów, bądź bardziej nowoczesne układy energoelektroniczne typu FACTS (SVC, STATCOM). Następnie należy dobrać odpowiednie parametry kompensatora, takie jak moc znamionowa i określenie, czy ma mieć charakter indukcyjny bądź pojemnościowy. Opracowana metoda doboru kompensatora skupia się wyłącznie na pierwszym oraz ostatnim zagadnieniu.

Prezentowana metoda opiera się na analizie dwóch kryteriów: poziomu napięć oraz podatności napięciowej węzłów analizowanej sieci. Podstawą działania algorytmu metody jest wyznaczenie wyżej wymienionych parametrów dla wszystkich węzłów badanego systemu w szeregu różnych wariantów pracy sieci. Po zastosowaniu odpowiedniej funkcji rozmywającej, na podstawie wyznaczonych wartości oblicza się współczynniki przyporządkowania  $\mu_U(p(w))$  dla napięcia,  $\mu_K(p(w))$  dla podatności napięciowej, oraz charakteryzujący węzeł  $\mu_i(p(w))$ . Wartość współczynnika  $\mu_i(p(w))$  wyznacza się na podstawie iloczynu pozostałych dwóch współczynników. Charakter funkcji rozmywających szerzej opisany jest w punkcie 3 referatu.

Przy wyborze lokalizacji dodatkowego źródła mocy biernej korzysta się z dwóch współczynników charakteryzujących węzły:  $\mu_U(p(w))$  oraz  $\mu_I(p(w))$ . Węzeł, dla którego  $\mu_I(p(w))$  osiąga wartość najniższą, wytypowany jest do zainstalowania w nim kompensatora. Współczynnik  $\mu_U(p(w))$  ma na celu sprawdzenie czy w systemie występują przekroczenia napięciowe. Moc kompensatora dobierana jest w taki

sposób, aby wstrzykiwana przez niego moc bierna pozwalała na utrzymanie w węźle takiej wartości napięcia, aby zapewnić spełnienia kryterium napięciowego (aby wartość napięcia w węźle nie przekraczała wartości minimalnej, bądź maksymalnej). Strukturę algorytmu metody zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Algorytm metody lokalizacji dodatkowych źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym.

### 3. DOBÓR FUNKCJI PRZYNALEŻNOŚCI

Aby na podstawie opisanej metody otrzymać wiarygodne wyniki należy odpowiednio dobrać funkcje przynależności. Funkcja przynależności realizuje odwzorowanie danej zmiennej do przedziału z zakresu  $[0,1]$ .

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1] \quad (1)$$

Wartość ta, zwana stopniem przynależności, informuje, w jakim stopniu element  $x$  należy do zbioru rozmytego. W literaturze [1,2,3] można znaleźć wiele przykładów funkcji przynależności. Poniżej przedstawione zostały najbardziej uniwersalne.

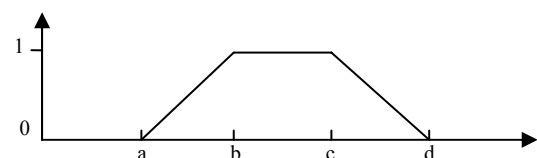
#### 3.1. Przegląd funkcji przynależności

Ze względu na małą liczbę danych potrzebnych do zdefiniowania funkcji, oraz łatwość modyfikacji parametrów funkcji w trakcie prowadzenia doświadczeń, najpopularniejszymi funkcjami przynależności są funkcje wielokątne. Naj-

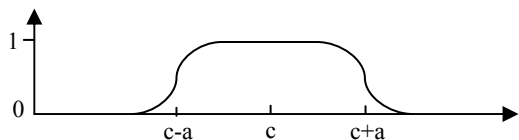
popularniejszymi funkcjami wielokątnymi są funkcja trójkątna oraz trapezowa.

Można również stosować tzw. intuicyjne funkcje przynależności, których założeniem jest, że są różniczkowalne w całym zakresie rozważań. Wśród takich funkcji można wyróżnić funkcję Gaussa, dzwonowe funkcje, bądź funkcje sigmoidalne.

Poza wymienionymi, stosuje się również inne formy funkcji przynależności, stworzone do potrzeb badawczych na podstawie doświadczeń ekspertów.



Rys. 2. Przykład trapezowej funkcji przynależności



Rys. 3. Przykład dzwonowej funkcji przynależności.

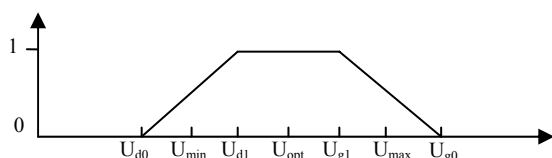
### 3.2. Dobór funkcji przynależności do stosowanej metody

Podstawą działania algorytmu jest wyznaczenie dwóch parametrów, poziomu napięcia w węźle, oraz podatności napięciowej węzła. Dla obu tych parametrów należy wyznaczyć funkcje przynależności.

#### a) Dobór funkcji przynależności dla poziomu napięcia

Poziom napięcia w węźle można określić jako „właściwy” wtedy, gdy jego wartość zawiera się między ustalonymi granicami  $U_{min}$  oraz  $U_{max}$ . Przyjmując, że określenie właściwy odnosi się do wartości większej niż zero na pokazanych wcześniej rysunkach 2,3 oraz 4, wszystkie opisane powyżej funkcje przynależności można przypisać do tego stwierdzenia.

Większa prostota w korzystaniu oraz łatwość modyfikacji parametrów zdecydowała o wyborze funkcji trapezowej jako funkcji rozmywającej poziom napięcia w zastosowanej metodzie.



Rys. 4. Funkcja przynależności dla napięcia zastosowana w proponowanej metodzie.

Gdzie:

$$U_{d0} = U_{min} - 0,5 \left( \frac{U_{max} + U_{min}}{2} - U_{min} \right) \quad (2)$$

$$U_{d1} = U_{min} + 0,5 \left( \frac{U_{max} + U_{min}}{2} - U_{min} \right) \quad (3)$$

$$U_{g1} = U_{max} - 0,5 \left( U_{max} - \frac{U_{max} + U_{min}}{2} \right) \quad (4)$$

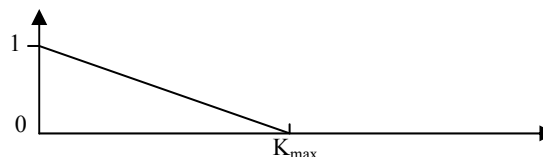
$$U_{g0} = U_{max} + 0,5 \left( U_{max} - \frac{U_{max} + U_{min}}{2} \right) \quad (5)$$

Wokół napięcia  $U_{opt}$ , określonego jako środek przedziału min-max, występuje obszar dla którego napięcie jest doskonale właściwe, więc funkcja przynależności przyjmuje wartość 1. Należy zauważyć, że wartość funkcji przynależności dla wartości maksymalnej i minimalnej wynoszą 0,5, czyli wartości nie zerowe, mimo że napięcie nie jest „właściwe”. Można w ten sposób różnicować, jeżeli wystąpi sytuacja w której w kilku węzłach nastąpi przekroczenie napięciowe.

#### b) Dobór funkcji przynależności dla wartości podatności napięciowej.

Wartość podatności napięciowej węzła można określić jako „właściwą” jeżeli jest jak najbliższa 0, a napięcie w tym węźle nie przekracza wartości dozwolonych. Oznacza to, że im większa ta wartość, tym bardziej sytuacja węzła oddala się od „właściwej”. Ze względu na prostotę modyfikacji wybrano jednostronną funkcję trójkątną. Rysunek 5 przedstawia zastosowaną dla podatności

napięciowej funkcję przynależności.



Rys. 5. Funkcja przynależności dla podatności napięciowej zastosowana w proponowanej metodzie.

Współczynnik  $K_{max}$  przyjęto jako odwrotność dwukrotności mocy zwarciowej węzła. Dzięki takiej operacji, gdy dla węzła podatność napięciowa się zwiększy, zmniejszy się współczynnik określający wartość podatności jako „właściwą”.

## 4. WYNIKI BADAŃ MODELOWYCH

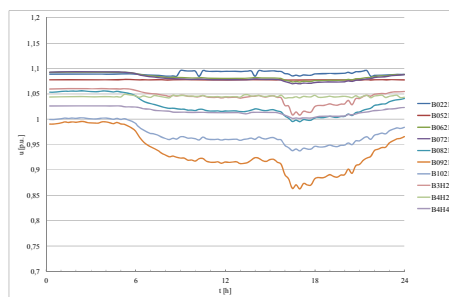
Aby przedstawić rezultat działania metody doboru lokalizacji kompensatorów, przeprowadzono badania symulacyjne na testowym modelu.

Działanie algorytmu wykazało potrzebę zainstalowania w układzie dwóch kompensatorów. Miejsce zainstalowania oraz zakresy wyznaczonych dla tych kompensatorów mocy przedstawiono w tabeli 1.

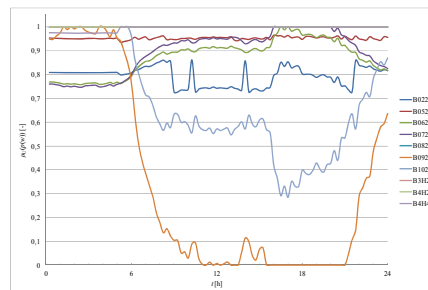
Tablica 1. Węzły wybrane do zainstalowania kompensatora oraz zakresy mocy generowanych w różnych wariantach.

Węzeł	Wyznaczony zakres mocy biernej [Mvar]	
B09211	0	74,8
B10211	-2,9	12,6

a)

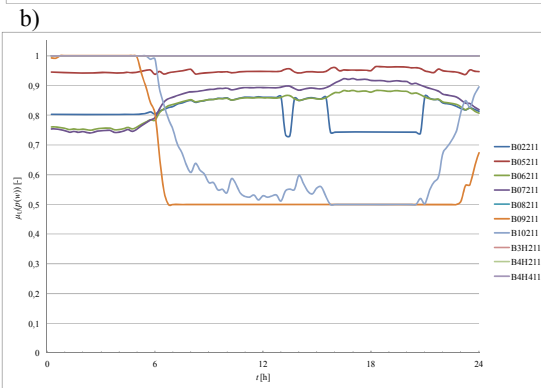
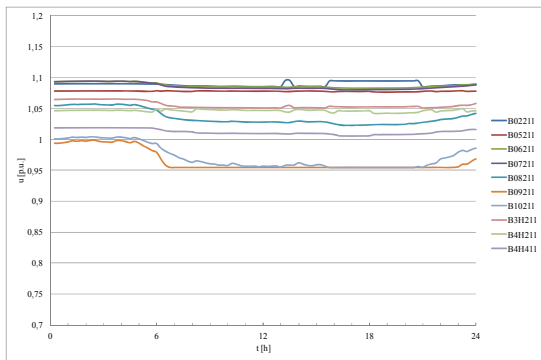


b)



Rys. 6. a) przebiegi napięć w obserwowanych węzłach b) wartości współczynnika  $\mu_U(p(w))$  w obserwowanych węzłach przykładowej sieci

a)



Rys. 7. a) przebiegi napięć w obserwowanych węzłach b) wartości współczynnika  $\mu_U(p(w))$  w obserwowanych węzłach przykładowej sieci po wprowadzeniu kompensatorów.

Rysunek 6a) przedstawia wartości napięć w wybranych węzłach modelowanej sieci. Rysunek 6b) przedstawia wyznaczone na tej podstawie współczynniki  $\mu_U(p(w))$ , zgodnie z funkcją przynależności przedstawioną na rys.5. Jak widać, w dwóch węzłach występuje sytuacja, w której wartość tego współczynnika przekracza wartość 0,5. Wynika z tego, że napięcie w danym węźle znacznie przekracza zakres napięć dozwolonych w danym węźle. Węzły te zostały wytypowane do zainstalowania kompensatora, i jak widać na rysunku 7a), wartości napięć nie przekraczają wartości przyjętej jako

minimalnej 0,95 p.u. Tym samym, wartości współczynnika przynależności nie przekraczają wartości 0,5, co przedstawiono na rys. 7b). Wpływ zainstalowanych kompensatorów widać w pozostałych węzłach systemu.

## 5. WNIOSKI.

Własności zbiorów rozmytych pozwalają na przybliżenie zjawisk tak, aby przypominały ludzkie postrzeganie. Pomaga to skonstruować pewne intuicyjne zasady tak, aby można je było zastosować w procesach optymalizacyjnych.

Bardzo ważnym elementem zastosowania logiki rozmytej w rozważaniach jest właściwy dobór kształtu oraz parametrów funkcji rozmywającej. Niezbędna jest do tego wiedza o danym zjawisku. Zastosowanie odpowiednich operacji na otrzymanych wynikach pozwala na wykorzystanie wielu parametrów do analizy.

## 6. BIBLIOGRAFIA.

1. D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank : Wprowadzenie do sterowania rozmytego, WNT, Warszawa 1996. ISBN 83-204-2030-X.
2. Jyh-Shing, Roger Jang : Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine, 1997, ISBN 01-326-1066-3.
3. L. A. Zadeh: Fuzzy Sets: Information and control, 1965
4. Kowalak R., Zajczyk R., Zbroński A. : Lokalizacja źródeł mocy biernej w systemie elektroenergetycznym z wykorzystaniem metody zbiorów rozmytych, Wiadomości Elektrotechniczne 01/2013, ISSN 0043-5112.
5. Kowalak R., Małkowski R., Zajczyk R., Zbroński A. : Statyczne kompensatory bocznikowe i ich lokalizacja w sieci przesyłowej, Energetyka XXIII OWE, Katowice 2012, ISSN0013-7294.

## CHOOSING MEMBERSHIP FUNCTION FOR METHOD OF LOCALIZATION OF ADDITIONAL REACTIVE POWER SOURCES IN POWER GRID USING FUZZY LOGIC – CONFERENCE PAPER

**Key words:** Reactive power compensation, Optimalization, fuzzy logic.

This paper introduces choosing localization for additional reactive power sources for power grid. The fuzzy logic method for localization is described, with special attention focused on choosing proper fuzzification method, used for reasoning. Results of using such method are presented for example power network.