

Politechnika Lubelska

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

**Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń**

Laboratorium Sieci Elektroenergetycznych

Ćwiczenie nr 5

**Rozpływy mocy w sieciach elektroenergetycznych –  
symulacja w programie PowerWorld**

# 1 Wyznaczania rozptywów mocy w sieci elektroenergetycznej

## 1.1 Wstęp

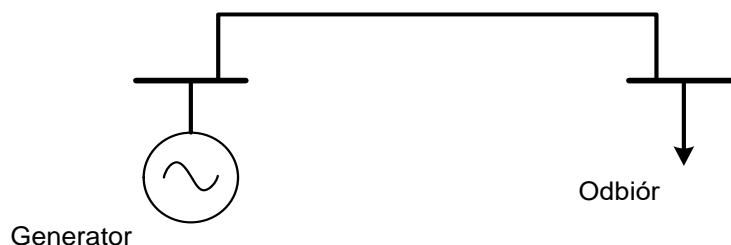
Obliczenia rozptywu mocy w sieci elektroenergetycznej są obok obliczeń zwarciovych i badania stabilności jednym z trzech podstawowych analiz prowadzonych w trakcie planowania zmian w systemie. Wyznaczenie rozptywu mocy pozwala na określenie rozptywu mocy i prądów we wszystkich gałęziach sieci oraz napięć we wszystkich węzłach sieci i tym samym na zbadanie czy w czasie pracy sieci nie wystąpią przekroczenia, szczególnie w wartościach prądów w gałęziach sieci i w napięciach we wszystkich węzłach sieci.

## 1.2 Obliczanie rozptywów mocy w sieci

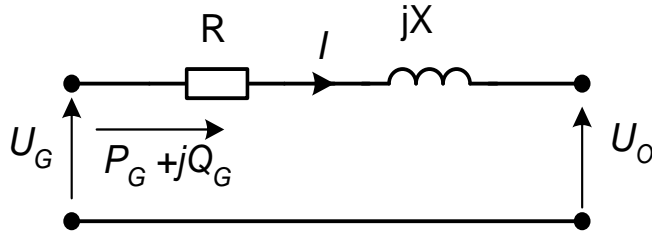
Przy zadanych mocach generowanych i obciążeniach w węzłach sieci wyznaczenie rozptywów mocy dostarcza informacji o napięciach we wszystkich węzłach sieci. Jeśli znane są napięcia w węzłach w prosty sposób można wyznaczyć rozptywy mocy we wszystkich gałęziach (liniach i transformatorach) sieci. Analiza rozptywowa jest wyznaczaniem rozptywów mocy dla wielu wariantów mocy odbieranych, generowanych oraz dla różnych konfiguracji sieci (konfiguracja pełna, konfiguracje remontowe, konfiguracje awaryjne). W pierwszym punkcie zostaną wyjaśnione zasady wyznaczania rozptywów mocy na przykładzie prostej dwuwęzłowej sieci. W dalszej części omówione będzie wykonywanie obliczeń rozptywowych w dużych, wielowęzłowych sieciach.

### 1.2.1 Rozptyw mocy w sieci dwuwęzłowej

Rozważmy układ dwuwęzłowej sieci przedstawiony na Rys. 1 Sieć taką można zamodelować tak jak to przedstawiono na Rys. 2. W modelu linii występują tylko parametry podłużne (rezystancja i reaktancja) natomiast parametry poprzeczne (konduktancje i susceptancje) pominięto.



Rys. 1 Sieć dwuwęzłowa



Rys. 2 Model sieci dwuwęzłowej. Moc czynna i bierna są zadane w węźle generacyjnym

Założmy, że napięcie w węźle generacyjnym  $\underline{U}_G$  i zespolona moc  $\underline{S}$  wstrzykiwana przez ten generator są znane. Chcemy natomiast obliczyć moc w węźle odbiorczym  $\underline{U}_O$ .

Moc zespolona może być wyznaczona z napięcia i prądu przy pomocy następującego równania:

$$\underline{S}_G = \underline{P}_G + j\underline{Q}_G = \underline{U}_G \underline{I}_G^* \quad /1.$$

Z powyższego równania możemy wyznaczyć prąd odpowiadający zadanej mocy i napięciu w węźle generacyjnym:

$$\underline{I} = \frac{\underline{P}_G - j\underline{Q}_G}{\underline{U}_G^*} \quad /2.$$

Wykorzystując II prawo Korchhoffa, możemy obliczyć napięcie w węźle odbiorczym:

$$\underline{U}_L = \underline{U}_G - (R + jX)\underline{I} \quad /3.$$

Na podstawie równań 2 i 3 otrzymujemy zależność:

$$\underline{U}_L = \underline{U}_G - (R + jX) \frac{\underline{P}_G - j\underline{Q}_G}{\underline{U}_G^*} \quad /4.$$

Przyjmując kąt napięcia w węźle generacyjnym za równy  $0^\circ$ ,

$$\underline{U}_G = \underline{U}_G^* = U_G \cdot e^{j0^\circ} = U_G \quad /5.$$

otrzymamy równanie 4 w postaci:

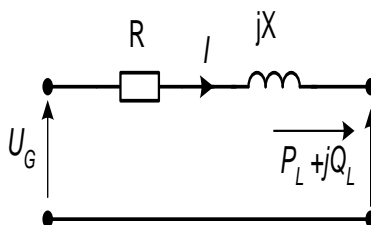
$$\underline{U}_L = U_G - \frac{RP_G + XQ_G}{U_G} - j \frac{XP_G + RQ_G}{U_G} \quad /6.$$

Jeśli mielibyśmy zadaną moc w węźle odbiorczym i zadane napięcie w tym węźle to postępując jak wyżej otrzymalibyśmy zależność na napięcie w węźle generacyjnym:

$$\underline{U}_G = U_L + \frac{RP_G + XQ_G}{U_L} + j \frac{XP_G + RQ_G}{U_L} \quad /7.$$

Na podstawie równań 6 i 7 widzimy, że jeśli mamy zadaną wartości mocy i napięcie na jednym końcu linii możemy w prosty sposób wyliczyć dokładną wartość napięcia na drugim końcu linii.

W praktyce napięcie może być zadane w węźle generacyjnym (generator pracuje z regulatorem nastawionym na utrzymanie konkretnej wartości napięcia) podczas gdy moc jest zadana w węźle odbiorczym (moc czynna wynika z obciążenia urządzenia zasilanego a moc bierna z jego charakterystyki). Przykład takiej sytuacji przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3 Model sieci dwuwęzłowej. Moc czynna i bierna są zadane w węźle odbiorczym

Moc pobierana w węźle odbiorczym różni się od mocy generowanej ze względu na to, że w linii występują straty mocy czynnej i biernej.

W takim przypadku, moc pozorna zespolona w węźle odbiorczym jest związana z napięciem i prądem następującą zależnością:

$$\underline{S}_L = P_L + jQ_L = \underline{U}_L \underline{I}_L^* \quad /8.$$

Rugując prąd z powyższej zależności (na podstawie równania 3) otrzymujemy:

$$\underline{U}_L = \underline{U}_G - (R + jX) \frac{P_G - jQ_G}{\underline{U}_L^*} \quad /9.$$

Jak widać nie możemy na podstawie powyższego równania obliczyć napięcia w węźle odbiorczym gdyż jest to zależność nieliniowa i napięcie to występuje w niej po obu stronach znaku równości. Zależność liniowa, która jest z reguły wykorzystywana w teorii obwodów elektrycznych znikła, gdyż obciążenie zostało opisane nie przy pomocy impedancji, lecz jako moc czynna i bierna. Taki typ równań jest z reguły rozwiązywany przy pomocy następującego algorytmu iteracyjnego

- Krok 1** Zakładamy wartość początkową napięcia w węźle odbiorczym  $\underline{U}_0^0$   
*(Jeśli nie ma dodatkowych informacji to z reguły przyjmujemy wartość napięcia równą napięciu znamionowemu natomiast kąt napięcia równy 0°)*
- Krok 2** Obliczamy  $\underline{U}_L^{i+1} = \underline{U}_G - (R + jX) \frac{P_G - jQ_G}{\underline{U}_L^{i*}}$
- Krok 3** Jeśli  $|\underline{U}_L^{i+1} - \underline{U}_L^i| > \varepsilon$  gdzie  $\varepsilon$  jest założoną dokładnością oblicze, proces iteracyjny nie jest jeszcze zakończony. Podstawiamy  $i=i+1$  i wracamy do kroku 2.
- Krok 4** Jeśli zakładana dokładność obliczeń została osiągnięta, proces iteracyjny może być przerwany.

Po obliczeniu wartości napięć w węźle odbiorczym według powyższego algorytmu możemy obliczyć prąd w linii przy pomocy równania 8. Moc czynna i bierna dostarczana przez generator jest równa mocy czynnej i biernej pobieranej przez odbiór powiększonej o straty mocy w linii:

$$P_G = P_L + I^2 R \quad /10.$$

$$Q_G = Q_L + I^2 X \quad /11.$$

### 1.2.2 Związek między przesyłaną mocą a napięciem

Równanie 6 można zapisać w następującej postaci:

$$\underline{U}_L = \underline{U}_G - \Delta U - j\delta U \quad /12.$$

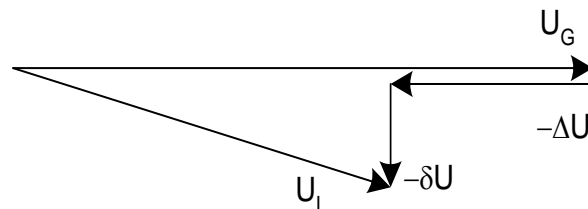
Składnik spadku napięcia, który jest w fazie z napięciem generatora jest więc dany zależnością:

$$\Delta U = \frac{RP_G + XQ_G}{U_G} \quad /13.$$

a składnik spadku napięcia przesunięty względem napięcia generatora o 90°:

$$\delta U = \frac{XP_G + RQ_G}{U_G} \quad /14.$$

Rys. 4 przedstawia te zależności.



**Rys. 4 Wykres wskazowy napięć w linii elektroenergetycznej**

Należy zauważyć, że przedstawiona ilustracja napięć w linii nie została wykonana w prawdziwej skali – w rzeczywistości tak duże spadki napięć w sieci w stosunku do napięć w węzłach nie są dopuszczalne i w praktyce nie występują.

Na podstawie powyższego wykresu możemy stwierdzić, że za różnicę pomiędzy amplitudą napięcia w węźle generacyjnym a odbiorczym jest odpowiedzialny składnik  $\Delta U$ , natomiast za różnicę między fazą napięcia w węźle generacyjnym a odbiorczym odpowiada składnik  $\delta U$ .

W przypadku sieci elektroenergetycznych wysokich napięć rezystancja jest znacznie mniejsza od reaktancji. Jeśli w przedstawionych wyżej zależnościach pominiemy rezystancję linii to otrzymamy następujące wzory:

$$\Delta U \approx \frac{XQ_G}{U_G} \quad /15.$$

$$\delta U \approx \frac{XP_G}{U_G} \quad /16.$$

co oznacza, że różnica między amplitudą napięć na dwóch końcach linii elektroenergetycznej wysokiego napięcia zależy głównie od mocy biernej przesyłanej tą linią, natomiast różnica faz pomiędzy napięciami na dwóch końcach linii zależy głównie od mocy czynnej przesyłanej tą linią. Podobnie, jeśli występuje duża różnica między amplitudami napięć w węzłach na dwóch końcach linii to w linii będzie duży przepływ mocy biernej. Należy zaznaczyć, że rezystancja linii w sieciach rozdzielczych średniego napięcia jest z reguły niewiele mniejsza od reaktancji. Zastosowane w równaniach 15 i 16 uproszczenia mogą być w tym przypadku niewłaściwe.

Jeśli obciążenie ma charakter pojemnościowy to kierunek przepływu mocy biernej będzie zmieniony (moc bierna będzie przepływała od odbiornika do źródła). Moc bierną będzie pobierał w takim przypadku generator. Zmiana kierunku przepływu mocy biernej i tym samym jej znaku w równaniu 15 spowoduje zjawisko podskoku napięcia w węźle odbiorczym. Napięcie w węźle odbiorczym będzie większe od napięcia w węźle generacyjnym.

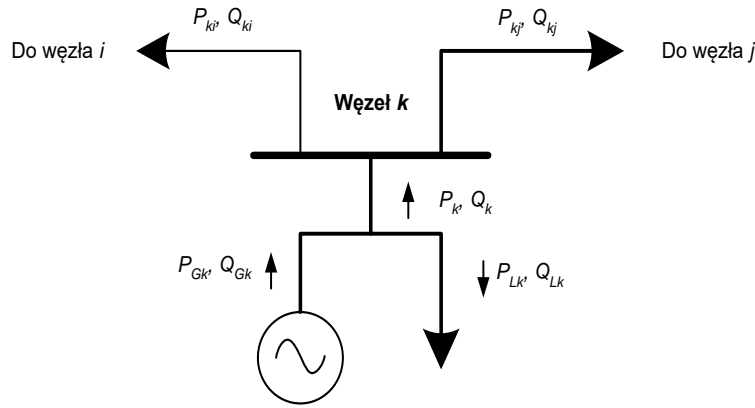
### 1.2.3 Rozpływy mocy w dużych sieciach

Zastosowanie prostych przekształceń opartych na II-im prawie Kirchhoff'a pozwala na wyznaczenie napięć i rozptywu mocy w sieci dwuwęzłowej. W bardziej rozbudowanej sieci gdzie pracuje wiele generatorów i do której przyłączonych jest wiele odbiorów nie można posługiwać się takimi prostymi zależnościami. W takim przypadku stosuje się bardziej zaawansowane metody obliczeniowe.

Metody obliczeń rozptywu mocy w dużych sieciach opierają się na obserwacji, że w każdej chwili moc czynna i bierna w węźle musi być zbilansowana. Innymi słowy suma mocy dopływającej do węzła musi być równa sumie mocy odpływających od węzła. Bilans mocy czynnej i biernej w węźle można zapisać następującymi równaniami:

$$\begin{aligned} P_k &= P_{Gk} - P_{Lk} = \sum_{i \in N_k} P_{ki} \\ Q_k &= Q_{Gk} - Q_{Lk} = \sum_{i \in N_k} Q_{ki} \end{aligned} \quad /17.$$

Pod znakiem sumy mamy wszystkie węzły  $i$  które są sąsiadami węzła  $k$  czyli węzły, które są połączone z węzłem za pośrednictwem linii lub transformatora.



**Rys. 5 Bilans mocy w węźle  $k$**

Jeśli zastąpimy moc czynną i bierną w równaniu 17 przez wyrażenie dotyczące napięć to otrzymamy układ równań obejmujący napięcia, moce czynne wstrzykiwane do węzła i konsumowane w węźle. Na podstawie terminologii z Rys. 5 otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{ki} &= \frac{\underline{U}_k - \underline{U}_i}{R_{ki} + jX_{ki}} = \underline{Y}_{ki}(\underline{U}_k - \underline{U}_i) = Y_{ki} \cdot e^{j\delta_{ki}} (\underline{U}_k \cdot e^{j\theta_k} - \underline{U}_i \cdot e^{j\theta_i}) = \\ &= Y_{ki} \cdot U_k \cdot e^{j(-\theta_k - \delta_{ki})} - Y_{ki} \cdot U_i \cdot e^{j(\theta_i + \delta_{ki})} \end{aligned} \quad /18.$$

Stąd:

$$\underline{I}_{ki}^* = Y_{ki} \cdot U_k \cdot e^{j(-\theta_k - \delta_{ki})} - Y_{ki} \cdot U_i \cdot e^{j(-\theta_i - \delta_{ki})} \quad /19.$$

i dalej:

$$\begin{aligned} \underline{U}_k \underline{I}_{ki}^* &= Y_{ki} U_k^2 \cdot e^{j(\theta_k - \theta_k - \delta_{ki})} - Y_{ki} U_k U_i \cdot e^{j(\theta_k - \theta_i - \delta_{ki})} = \\ &= Y_{ki} U_k^2 \cdot e^{j(-\delta_{ki})} - Y_{ki} U_k U_i \cdot e^{j(\theta_k - \theta_i - \delta_{ki})} \end{aligned} \quad /20.$$

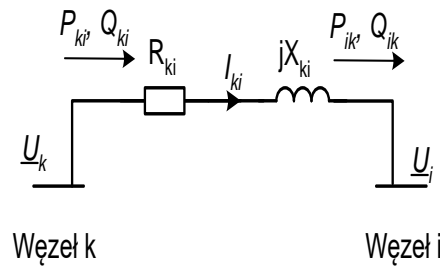
Na podstawie układu równań:

$$\begin{cases} P_{ki} = \text{Re}(\underline{S}_{ki}) = \text{Re}(\underline{U}_k \underline{I}_{ki}^*) \\ Q_{ki} = \text{Im}(\underline{S}_{ki}) = \text{Im}(\underline{U}_k \underline{I}_{ki}^*) \end{cases} \quad /21.$$

otrzymujemy:

$$\begin{cases} P_{ki} = Y_{ki} U_k^2 \cdot \cos(-\delta_{ki}) - Y_{ki} U_k U_i \cdot \cos(\theta_k - \theta_i - \delta_{ki}) \\ Q_{ki} = Y_{ki} U_k^2 \cdot \sin(-\delta_{ki}) - Y_{ki} U_k U_i \cdot \sin(\theta_k - \theta_i - \delta_{ki}) \end{cases} \quad /22.$$

Należy zauważyć, że ze względu na straty mocy w liniach moce mierzone na dwóch końcach linii są różne od siebie:



Rys. 6 Oznaczenia używane w obliczeniach rozplywu mocy w gałęzi  $ki$

$$\begin{aligned} P_{ki} &\neq P_{ik} \\ Q_{ki} &\neq Q_{ik} \end{aligned} \quad /23.$$

Na podstawie równania 17 i 22 otrzymujemy zależności:

$$\begin{cases} P_{ki} = \sum_{i \in N_k} \{ Y_{ki} U_k^2 \cdot \cos(-\delta_{ki}) - Y_{ki} U_k U_i \cdot \cos(\theta_k - \theta_i - \delta_{ki}) \} \\ Q_{ki} = \sum_{i \in N_k} \{ Y_{ki} U_k^2 \cdot \sin(-\delta_{ki}) - Y_{ki} U_k U_i \cdot \sin(\theta_k - \theta_i - \delta_{ki}) \} \end{cases} \quad /24.$$

Te ostatnie równania opisujące związek między mocą czynną i bierną wprowadzaną do węzła  $i$  napięciami w węźle  $i$  i węzłach sąsiednich. Podobny układ równań może być zapisany dla każdego  $n$  – tego węzła sieci. Otrzymamy w ten sposób  $2n$  równań. W każdym równaniu mamy  $4n$  zmiennych.

- $n$  mocy czynnych węzłowych  $P_k$
- $n$  mocy biernych węzłowych  $Q_k$
- $n$  modułów napięć  $U_k$
- $n$  kątów napięć  $\theta_k$

Dwie z tych zmiennych muszą być zadane dla każdego z węzła żeby można było rozwiązać układ równań. W praktyce stosuje się trzy kombinacje zmiennych znanych i szukanych. Ma to związek z fizyczną charakterystyką węzłów w sieci.

**Węzły odbiorcze PQ** gdzie zadana jest wartość mocy czynnej i biernej pobieranej w węźle.

**Węzły generatorowe PU** gdzie zadana jest moc czynna generowana i napięcie w węźle, które ma za zadanie utrzymać regulator napięcia generatora. W praktyce węzły generatorowe mają jeszcze narzucone ograniczenia co do mocy biernej maksymalnej i minimalnej. Jeśli te wartości mocy biernej zostaną osiągnięte to węzeł staje się węzłem typu PQ – zadaną mocą czynną i mocą bierną, która jest maksymalną bądź minimalną mocą bierną dla generatora.

W sieci powinien być jeszcze jeden węzeł tak zwany **węzeł bilansujący Uδ**, ze względu na to że wartość kąta napięcia w jednym węźle może być dowolnie wybrana oraz ze względu na to, że musi być zachowany bilans pomiędzy mocą czynną i bierną generowaną i odbieraną z



sieci. Moc pobierana z sieci nie jest znana ze względu na to, że nie są znane straty mocy w gałęziach sieci. Węzeł bilansujący ma zadaną wartość napięcia – z reguły równą napięciu znamionowemu sieci – oraz kąt napięcia – równy  $0^\circ$ . Jako węzeł bilansujący w sieciach przesyłowych jest z reguły wybierany węzeł, do którego jest przyłączona duża elektrownia, natomiast w sieciach rozdzielczych węzeł, z którego ta sieć jest zasilana (np. GPZ).

Oprócz opisanych zmiennych, którymi zamodelowana jest sieć elektroenergetyczna dla potrzeb obliczeń rozptywu mocy w stanie ustalonym należy podać dodatkowe informacje o innych urządzeniach. Są to na przykład transformatory z regulowaną przekładnią oraz kompensatory z regulowaną mocą bierną. W programach rozptylowych te elementy muszą także zostać prawidłowo zamodelowane.

#### **1.2.4 Wyznaczanie rozptywu mocy w sieci**

Równania opisujące sieć na potrzeby wyznaczania rozptywu mocy (równania 24) są nieliniowe i tym samym nie mogą być rozwiązywane algebraicznie i „ręcznie”. Na przestrzeni lat opracowano wiele metod rozwiązywania „zadania rozptywowego”. Dokładniejszy ich opis można znaleźć np. w [1].

Wyznaczanie rozptywów mocy w sieciach elektroenergetycznych wykonuje się z reguły przy pomocy dostępnych komercyjnie pakietów programów do analizy pracy systemów elektroenergetycznych.

Proces analizy sieci można podzielić na kilka etapów.

Najbardziej czasochłonnym etapem jest **przygotowanie danych**. Dane linii (impedancje, reaktancje, konduktancje i susceptancje) oblicza się na podstawie danych znamionowych pochodzących od właścicieli linii. Podobnie dane generatorów i transformatorów należy przygotować w oparciu o ich dane katalogowe. Najtrudniej jest jednak oszacować moce czynne i bierne w węzłach odbiorczych gdyż podlegają one w praktyce ciągłym zmianom. W praktyce wykonuje się analizy rozptywowe dla kilku stanów obciążenia (np. stan normalny ze średnim obciążeniem, stan minimalnego obciążenia, stan maksymalnego obciążenia).

Drugim etapem jest **wykonanie modelu sieci** na podstawie zgromadzonych wcześniej danych. Starsze programy wymagały, aby model sieci był przygotowywany w postaci pliku o dokładnie określonym formacie. Przykład pliku opisującego prostą sieć w formacie kdm stosowanym w krajowym programie „Plans” przedstawiony jest poniżej.

## KOMENTARZ

Zmodyfikowany system testowy CIGRE 7G

Wariant podstawowy

### WEZLY

B02211 4 240.00 12.00 7.00 278.06 90.15,,,,,,220,1.090909 0.000000  
B05211 3 243.00 14.00 8.00 210.00 24.34 150.00 -120.00,,,,,220,1.104545 6.383189  
B06211 3 242.00 30.00 20.00 320.00 79.55 210.00 -150.00,,,,,220,1.100000 1.757313  
B07211 3 242.00 15.00 9.00 150.00 36.52 120.00 -100.00,,,,,220,1.100000 3.202724  
B08211 1 220.00 210.00 85.00,,,,,,220,1.044614 -4.819947  
B09211 1 220.00 440.00 120.00,,,,,,220,0.969767 -18.734344  
B10211 1 220.00 310.00 160.00,,,,,,220,0.957486 -13.096803  
B3H211 3 235.00 17.00 10.00 210.00 135.34 180.00 -120.00,,,,,220,1.068182 -6.690086  
B4H211 3 235.00 276.00 105.00 450.00 221.34 320.00 -240.00,,,,,220,1.068182 -5.309276  
B01112 3 115.00 18.00 9.00 110.00 46.72 80.00 -30.00,,,,,110,1.045455 -8.789978  
B11112 1 110.00 50.00 19.00,,,,,,110,1.028422 -9.844036  
B12112 1 110.00 25.00 9.00,,,,,,110,1.000604 -10.773944  
B13112 1 110.00 35.00 13.00,,,,,,110,1.031209 -10.818050  
B14112 1 110.00 40.00 15.00,,,,,,110,1.009384 -11.508857  
B15112 1 110.00 40.00 15.00,,,,,,110,1.002432 -10.533953  
B3L112 1 115.00 50.00 19.00,,,,,,110,1.045428 -10.012579  
B4L112 1 110.00 112.00 42.70,,,,,,110,1.000216 -10.058982

### GALEZIE

LIN10 B09211 B08211 10.700 90.000 420.00 1000  
LIN11 B08211 B06211 3.500 30.800 180.00 1000  
LIN12 B08211 B07211 6.000 59.500 300.00 1000  
LIN13 B10211 B02211 5.250 65.000 320.00 1000  
LIN2 B3H211 B09211 5.750 58.000 290.00 1000  
LIN20 B3L112 B01112 2.500 10.500 53.00 630  
LIN21 B01112 B11112 0.600 4.000 20.00 630  
LIN22 B11112 B15112 1.800 12.000 65.00 630  
LIN23 B15112 B4L112 0.500 4.000 20.00 630  
LIN24 B4L112 B12112 0.450 3.500 17.50 630  
LIN25 B12112 B14112 1.100 8.100 40.50 630  
LIN26 B14112 B13112 1.100 8.100 40.50 630  
LIN27 B13112 B3L112 0.450 3.500 17.50 630  
LIN4 B3H211 B02211 7.800 82.600 410.00 1000  
LIN6 B09211 B4H211 11.700 96.000 422.00 1000  
LIN7 B4H211 B06211 12.750 97.000 430.00 1000  
LIN8 B4H211 B05211 5.450 60.000 305.00 1000  
LIN9 B4H211 B10211 5.250 55.000 290.00 1000  
TRA-1 B4H211 B4L112 2.500 25.400 0.00 250  
TRA-2 B3H211 B3L112 3.900 39.600 0.00 160

### GALEZIE-TT

TRA-1 1.042300 0.000000 1.050000 0.900000  
TRA-2 0.960170 0.000000 1.050000 0.900000

### KONIEC

W nowszych programach wprowadzanie danych odbywa się przy pomocy przygotowanych okien dialogowych, lub nawet w trakcie rysowania schematu sieci.

Kolejny, trzeci już etap polega na **wybraniu wariantu obliczeniowego**. Użytkownik powinien

wybrać wariant konfiguracji sieci, moce generowane i odbierane, dla których ma być wyznaczony rozptyw mocy. Te dane razem z wartościami napięć zadanych dla generatorów oraz położeniem przełączników zaczeptów transformatorów powinny być także wprowadzone w programie.

Następny etap to uruchomienie programu obliczeniowego i **wykonanie obliczeń rozptywu mocy** w sieci. Jest to najszybszy i najłatwiejszy etap dla użytkownika (obliczenia wykonywane są automatycznie przez program), o ile model jest przygotowany prawidłowo. Często w pierwszym podejściu zdarza się, że ze względu na pomyłki przy przygotowaniu modelu obliczenia nie mogą być wykonane i wówczas należy wrócić do poprzednich kroków i poprawić model sieci.

Po wykonaniu obliczeń pozostaje jeszcze ostatni etap – **analiza wyników**. Po pierwsze należy sprawdzić czy otrzymane wyniki mają realne wartości. Może się zdarzyć, że w wyniku błędów przy wykonywaniu modelu otrzymamy błędne rezultaty obliczeń. Jeśli otrzymane wyniki są satysfakcjonujące model może być wykorzystany do wielowariantowych analiz sieci dla różnych konfiguracji i wariantów sieci.

## **2 Wykonanie ćwiczenia**

Ćwiczenie będzie realizowane przy pomocy programu do badania rozptywów mocy w sieci elektroenergetycznej PowerWorld. Jest to wersja edukacyjna komercyjnie dostępnego oprogramowania firmy PowerWorld Corporation. Został on wybrany ze względu na przyjazny interfejs użytkownika, co nie jest powszechne w tego typu oprogramowaniu oraz łatwy dostęp do w pełni funkcjonalnej wersji edukacyjnej. Wersję tę można pobrać ze strony internetowej programu: [www.powerworld.com](http://www.powerworld.com).

### **2.1 Badanie układu sieć sztywna odbiór**

Badanie układu odbiór – sieć sztywna odbywa się na pliku z danymi Cw\_1.pwb. Należy wczytać ten plik z dysku komputera. Charakterystyki wyznacza się przy różnych impedancjach powiązania węzła odbiorczego z węzłem bilansującym. Zmianę impedancji połączenia między węzłami uzyskuje się przez włączanie i wyłączanie linii. Rezystancję i reaktancję linii podaje prowadzący.

#### **2.1.1 Wyznaczenie charakterystyk $f(P)$**

Dla dwóch wartości impedancji układu połączenia węzłów należy wyznaczyć charakterystyki: napięcia w węźle odbiorczym w funkcji mocy czynnej pobieranej  $U=f(P)$ ; kąta napięcia w

węźle odbiorczym w funkcji mocy czynnej pobieranej  $\delta = f(P)$ ; straty mocy w linii w funkcji mocy czynnej pobieranej  $\Delta P = f(P)$ ; straty mocy czynnej w linii w funkcji mocy czynnej pobieranej  $\Delta Q = f(P)$ . Następnie należy wyliczyć spadek napięcia w linii który jest równy:

$$\Delta U = U_G - U_o \quad /25.$$

Wyniki należy zamieścić w tabeli wg poniższego wzoru:

L.p.	$U_B = \dots\dots\dots \text{ kV } R = \dots\dots\dots \Omega, X = \dots\dots\dots \Omega, Q_o = \dots\dots\dots \text{ Mvar}$					
	Po	U	$\delta$	$\Delta P$	$\Delta Q$	$\Delta U$
	MW	kV	Deg	MW	Mvar	kV
1						
.						
.						
8						

W sprawozdaniu należy wykreślić wykresy charakterystyk:  $U=f(P)$ ;  $\delta = f(P)$ ;  $\Delta P = f(P)$ ;  $\Delta Q = f(P)$ .

### 2.1.2 Wyznaczenie charakterystyk $f(Q)$

Dla dwóch wartości impedancji układu (tych samych co poprzednio) połączenia węzłów należy wyznaczyć charakterystyki: napięcia w węźle odbiorczym w funkcji mocy biernej pobieranej  $U=f(Q)$ ; kąta napięcia w węźle odbiorczym w funkcji mocy biernej pobieranej  $\delta = f(Q)$ ; straty mocy w linii w funkcji mocy biernej pobieranej  $\Delta P = f(Q)$ ; straty mocy czynnej w linii w funkcji mocy biernej pobieranej  $\Delta Q = f(Q)$ . Następnie należy wyliczyć spadek napięcia w linii który jest równy:

$$\Delta U = U_G - U_o \quad /26.$$

Wyniki należy zamieścić w tabeli wg poniższego wzoru:

L.p.	$U_B = \dots\dots\dots \text{ kV } R = \dots\dots\dots \Omega, X = \dots\dots\dots \Omega, P_O = \dots\dots\dots \text{ MW}$					
	$Q_o$	$U$	$\delta$	$\Delta P$	$\Delta Q$	$\Delta U$
	Mvar	kV	Deg	MW	Mvar	kV
1						
.						
.						
8						

W sprawozdaniu należy wykreślić wykresy charakterystyk:  $U=f(Q)$ ;  $\delta = f(Q)$ ;  $\Delta P = f(Q)$ ;  $\Delta Q = f(Q)$ .

## 2.2 Wykres wskazowy napięć dla linii

Dla jednego z pomiarów wykonanych wcześniej należy wykonać w skali wykres napięć w linii w formacie A4. Wykres wykonać wg rys 4.

## 2.3 Badanie możliwości regulacyjnych napięcia w węźle generacyjnym

Badanie możliwości regulacyjnych napięcia przez generator odbywa się na pliku z danymi Cw\_2.pwb. Należy wczytać ten plik z dysku komputera. Charakterystyki wyznacza się przy różnych impedancjach powiązania węzła odbiorczego z węzłem bilansującym. Zmianę impedancji połączenia między węzłami uzyskuje się przez włączanie i wyłączanie linii. Rezystancję i reaktancję linii podaje prowadzący.

### 2.3.1 Wyznaczenie charakterystyk $Q = f(U_G)$

Dla dwóch wartości impedancji układu połączenia węzłów należy wyznaczyć charakterystyki: napięcia mocy biernej generowanej w funkcji napięcia generatora  $Q_G = f(U_G)$ ;

Wyniki należy zamieścić w tabeli wg poniższego wzoru:

L.p.	$U_B = \dots\dots\dots \text{ kV } R = \dots\dots\dots \Omega, X = \dots\dots\dots \Omega, P_G = \dots\dots\dots \text{ MW}$	
	$U_G$	$Q_G$
	kV	Mvar
1		
.		
.		
8		

W sprawozdaniu należy wykreślić wykres charakterystyki  $Q_G = f(U_G)$

## **2.4 Symulacja pracy sieci**

Punkt ćwiczenia jest realizowany na pliku z danymi *Cw\_3.pwb*. Należy wczytać ten plik z danymi z dysku komputera. Zadanie polega na obserwacji pracy sieci testowej.

W czasie symulacji można zaobserwować zmiany mocy obciążenia w sieci oraz towarzyszące im zmiany w rozplywie mocy. Możliwe jest także występowanie innych zdarzeń takich jak wyłączenia linii w wyniku wyladowań atmosferycznych, zniszczenia izolatorów lub tornada. Studenci mają też możliwość sprawdzenia jaki skutek wywoła dokonywanie wyłączeni przełączników elementów w sieci. Symbol wyłącznika – czerwony prostokąt – jest aktywny i można nim włączać i wyłączać elementy sieci.

### **2.4.1 Opracowanie wyników ćwiczenia w sprawozdaniu**

Na podstawie obserwacji należy odpowiedzieć w sprawozdaniu na pytania:

1. Jaki skutek może wywołać w sieci wyłączenie linii elektroenergetycznej (jednej bądź kilku)?
2. Jaki skutek wywołuje w sieci wyłączenie elektrowni?
3. Jaki skutek wywołuje w sieci wyłączenie odbioru?
4. Jaką funkcję pełni automatyka AGC (automatyka może być włączana i wyłączana przez kliknięcie na napis AGC OFF/AGC ON)?

## **2.5 Wnioski i spostrzeżenia z ćwiczenia**

Na podstawie przeprowadzonego ćwiczenia opracować wnioski. We wioskach należy odnieść się do każdego punktu wykonanego ćwiczenia.

## **3 Literatura**

1. Kremens Z., Sobierajski M.: Analiza systemów elektroenergetycznych. WNT 1996