

*elektroenergetyka, małe elektrownie wodne, obliczenia,
sieci niskiego napięcia, odnawialne źródła energii*

Bogusław KAROLEWSKI*
Wadim STOCHMIAŁEK**

ANALIZA UKŁADU ZASILANIA MAŁEJ ELEKTROWNI WODNEJ

Na przykładzie małej elektrowni wodnej wyposażonej w trzy generatory indukcyjne o sumarycznej mocy rzędu 60 kW, pokazano sposób wyznaczania parametrów elektrycznych układu. Przyjęto schemat wycinka sieci nn, do którego przyłączona jest elektrownia. Wyznaczano obciążenia poszczególnych odcinków sieci i spadki napięć. Analizowano wartości prądów zwarcia trójfazowego i jednofazowego na szynach elektrowni. Wykonane obliczenia pozwalają ocenić wpływ elektrowni na sieć, do której została przyłączona.

1. WPROWADZENIE

Małe elektrownie wodne (MEW) należą do odnawialnych źródeł energii (OZE). Ich podstawowe zalety, to możliwość (przynajmniej krótkoterminowego) planowania produkcji energii, szybkie uruchamianie i zatrzymywanie, możliwość pracy w godzinach szczytu i małe problemy związane z utrzymaniem i eksploatacją elektrowni.

Kluczowym momentem związanym z rozwojem małej energetyki był rok 1981, w którym podjęto uchwałę o dopuszczaniu do realizacji oraz użytkowania MEW o mocy do 5MW przez osoby fizyczne oraz podmioty gospodarcze spoza energetyki zawodowej. Na dodatek zakładom energetycznym nakazano dokonywać zakupu wyprodukowanej energii elektrycznej. Dzięki powyższym udogodnieniom tematyka MEW stała się bardzo atrakcyjna. Profity przyciągają inwestorów, a przyrost liczby obiektów nie będących własnością energetyki osiąga nawet kilkadziesiąt MEW rocznie.

Jednym z ograniczeń rozwoju MEW jest konieczność dokonywania analizy wpływu elektrowni na sieć energetyczną w miejscu przyłączenia. W artykule pokazano sposób wykonania głównej części takiej oceny dla przykładowej elektrowni.

* Politechnika Wroclawska, Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław, e-mail: boguslaw.karolewski@pwr.wroc.pl

** Dyplomant Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych.

2. DANE OBIEKTU

W skład przykładowego obiektu MEW wchodzi: jaz piętrzący, kanał doprowadzający wodę o długości 40 metrów, budynek elektrowni oraz kanał odprowadzający wodę o łącznej długości 90 metrów. Analizowany obiekt jest elektrownią przepływową o spadzie $H = 4$ m. Zainstalowano w niej trzy generatory indukcyjne klatkowe, napędzane turbinami wodnymi lewarowymi, które pracują poprzez sieć niskiego napięcia równolegle z siecią rozdzielczą. Zastosowano trzy oddzielne turbozespoły, gdyż moc znamionowa transformatora wynosi tylko 100k VA. Moc maszyny indukcyjnej nie powinna przekraczać 20% mocy transformatora, aby spadek napięcia w sieci w czasie rozruchu nie przekraczał 10%. Zwiększa to również elastyczność pracy elektrowni przy różnych przepływach wody.

Parametry projektowe MEW:

- spad $H = 4,0$ m,
- przełyk maksymalny $Q = 3,0$ m³/s,
- przełyk maksymalny każdej z turbin $Q_t = 1,0$ m³/s,
- obroty nominalne turbiny $n_t = 654$ obr/min,
- sprawność turbiny $\eta_t = 93\%$,
- sprawność przekładni $\eta_p = 96\%$,
- sprawność generatora nr 1 i 2 $\eta_{gen1,2} = 84\%$,
- sprawność generatora nr 3 $\eta_{gen3} = 79\%$,
- sprawność układu wyprowadzenia mocy $\eta_s = 98\%$,
- wykorzystano dwa generatory typu SKg200L6B, które jako silniki mają moc znamionową po 22 kW, prędkość 981 obr/min, prąd znamionowy 43 A, sprawność 84%, a współczynnik mocy 0,88. Przy pracy prądnicowej prędkość znamionowa wynosiła $n_{ng} = 1019$ obr/min, a moc wyznaczono w p. 3:
- trzeci generator typu Sf160L8, jako silnik ma moc znamionową 7,5 kW, prędkość 710 obr/min, prąd znamionowy 17,7 A, sprawność 79%, a współczynnik mocy 0,78. Przy pracy prądnicowej prędkość znamionowa $n_{ng} = 790$ obr/min.

3. OBLICZENIA PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH

3.1. OBLICZANIE MOCY GENERATORÓW INDUKCYJNYCH SKG200L6B [5]

Moc czynna generowana bez udziału baterii kondensatorów:

$$P_{G1,2} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 43 \cdot 0,88 \cdot 10^{-3} = 26,22 \text{ kW} \quad (1)$$

Moc bierna pobierana z sieci bez udziału baterii kondensatorów:

$$Q_{G1,2} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \sin \varphi \cdot 10^{-3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 43 \cdot 0,47 \cdot 10^{-3} = 14,00 \text{ kVar} \quad (2)$$

Moc czynna generowana z udziałem baterii kondensatorów, kompensujących współczynnik mocy do 0,94:

$$P_{G1,2} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 43 \cdot 0,94 \cdot 10^{-3} = 28,00 \text{ kW} \quad (3)$$

Moc bierna pobierana z sieci z udziałem baterii kondensatorów:

$$Q_{G1,2} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \sin \varphi \cdot 10^{-3} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 43 \cdot 0,34 \cdot 10^{-3} = 10,13 \text{ kVar} \quad (4)$$

3.2. OBLICZANIE MOCY GENERATORA INDUKCYJNEGO SF160L8

Moce wylicza się podobnie jak w punkcie 3.1.

3.3. SUMMARYCZNE MOCE CZYNNNE I BIERNE

Moc czynna generowana bez udziału baterii kondensatorów:

$$P_G = 2P_{G1,2} + P_{G3} = (2 \cdot 26,22) + 9,44 = 61,88 \text{ kW} \quad (5)$$

Moc bierna pobierana z sieci bez udziału baterii kondensatorów

$$Q_G = 2Q_{G1,2} + Q_{G3} = (2 \cdot 14,00) + 7,85 = 35,85 \text{ kVar} \quad (6)$$

Moc czynna generowana z udziałem baterii kondensatorów:

$$P_G = 2P_{G1,2} + P_{G3} = (2 \cdot 28,00) + 11,53 = 67,53 \text{ kW} \quad (7)$$

Moc bierna pobierana z sieci z udziałem baterii kondensatorów:

$$Q_G = 2Q_{G1,2} + Q_{G3} = (2 \cdot 10,13) + 4,17 = 24,43 \text{ kVar} \quad (8)$$

3.4. OBLICZANIE SPRAWNOŚCI GENERATORÓW INDUKCYJNYCH [5]

W przypadku generatorów SKg200L6B:

$$\eta = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3}} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 43 \cdot 0,88 \cdot 10^{-3}} = 0,84 \quad (9)$$

W przypadku generatorów Sfl60L8:

$$\eta = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3}} = \frac{7,5}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 17,7 \cdot 0,77 \cdot 10^{-3}} = 0,79 \quad (10)$$

3.5. WYZNACZANIE MOCY TURBINY [5]

Moc surowa turbiny P_s :

$$P_s = 9,81 \cdot Q_t \cdot H_u = 9,81 \cdot 1 \cdot 4 = 39,24 \text{ kW} \quad (11)$$

Moc użyteczna turbiny P_u :

$$P_u = 9,81 \cdot Q_t \cdot H_u \cdot \eta_t = 9,81 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 0,93 = 36,49 \text{ kW} \quad (12)$$

3.6. OBLICZANIE PRZEŁOŻENIA PRZEKŁADNI [5]

Dla generatorów SKg200L6B:

$$i = \frac{n_t}{n_g} = \frac{654}{1019} = 0,64 \quad (13)$$

Dla generatora Sf160L8:

$$i = \frac{n_t}{n_g} = \frac{654}{790} = 0,83 \quad (14)$$

3.7. WYZNACZANIE SPRAWNOŚCI HYDROZESPOŁU [5]

W przypadku dwóch maszyn SKg200L6B:

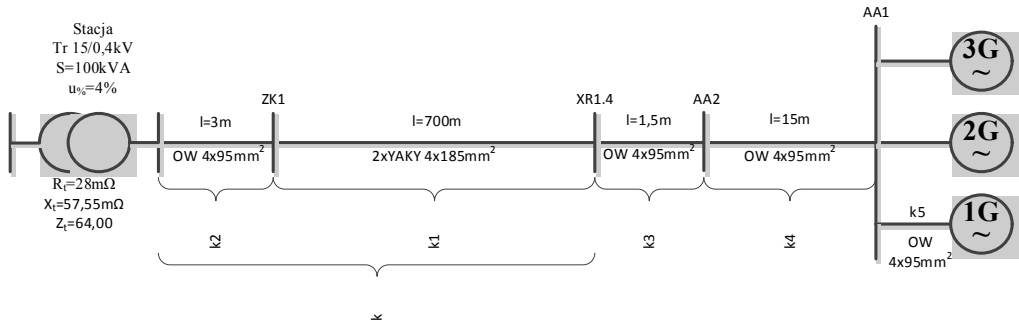
$$\eta_{tz1,2} = \eta_t \cdot \eta_{e1,2} \cdot \eta_p = 0,93 \cdot 0,84 \cdot 0,96 = 0,75 = 75 \% \quad (15)$$

W przypadku maszyny Sf160L8:

$$\eta_{tz3} = \eta_t \cdot \eta_{e3} \cdot \eta_p = 0,93 \cdot 0,79 \cdot 0,96 = 0,71 = 71 \% \quad (16)$$

4. ANALIZA WARUNKÓW NAPIĘCIOWYCH
W MIEJSCU PRZYŁĄCZENIA ELEKTROWNI

Analiza połączenia z systemem elektroenergetycznym została przeprowadzona bez uwzględniania baterii kondensatorów. Obliczenia wykonano dla przypadku znamionowej pracy wszystkich 3 generatorów. Na rysunku 1 przedstawiono schemat obwodu, wykorzystany do analizy spadków napięć.



Rys. 1. Schemat obwodu do analizy spadków napięć
Fig. 1. Scheme for the analysis of voltage drops

4.1. SPADKI NAPIĘĆ W SIECI NN NA ODCINKU MIĘDZY PRZYŁĄCZEM KABLOWYM XR1.4 A STACJĄ TRANSFORMATOROWĄ

Rozważany odcinek linii składa się z 2 równoległych kabli YAKY o przekroju 185 mm^2 oraz kabla OW $4 \times 95 \text{ mm}^2$.

Sumaryczny prąd obciążenia generatorów 1 i 2:

$$I_{G1,2} = I_{G1} + I_{G2} = 86,0 \text{ A} \quad (17)$$

Składowa czynna prądu obciążenia generatorów 1 i 2:

$$I_{G1,2cz} = I_{G1,2} \cdot \cos \varphi_1 = 86,0 \cdot 0,88 = 75,68 \text{ A} \quad (18)$$

Składowa bierna prądu obciążenia generatorów 1 i 2:

$$I_{G1,2b} = I_{G1,2} \cdot \sin \varphi_1 = 86,0 \cdot 0,47 = 40,42 \text{ A} \quad (19)$$

Prąd obciążenia generatora $I_{G3} = 17,7 \text{ A}$

Składowa czynna prądu obciążenia generatora 3:

$$I_{G3cz} = I_{G3} \cdot \cos \varphi_2 = 17,7 \cdot 0,77 = 13,63 \text{ A} \quad (20)$$

Składowa bierna prądu obciążenia generatora 3:

$$I_{G3b} = I_{G3} \cdot \sin \varphi_2 = 17,7 \cdot 0,64 = 11,33 \text{ A} \quad (21)$$

Suma składowych czynnych prądu obciążenia:

$$I_{cz} = I_{G1,2cz} + I_{G3cz} = 75,68 + 13,63 = 89,31 \text{ A} \quad (22)$$

Suma składowych biernych prądu obciążenia:

$$I_b = I_{G1,2b} + I_{G3b} = 40,42 + 11,33 = 51,75 \text{ A} \quad (23)$$

Wypadkowy prąd obciążenia:

$$I_w = \sqrt{I_{cz}^2 + I_b^2} = \sqrt{(89,31)^2 + (51,75)^2} = 103,22 \text{ A} \quad (24)$$

Wypadkowy współczynnik mocy:

$$\cos \varphi_w = \frac{P_{NG1} + P_{NG2} + P_{NG3}}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_w} = \frac{26,22 + 26,22 + 9,44}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 103,22} = 0,87 \rightarrow \sin \varphi_w = 0,49 \quad (25)$$

Reaktancja 2 równoległych kabli:

$$X_{k1} = 0,5 X_j \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 0,08 \cdot 700 \cdot 10^{-3} = 0,028 \Omega \quad (26)$$

gdzie:

X_j – reaktancja jednostkowa przewodów [$m\Omega/m$],

l – długość kabla [m].

Wartość reaktancji jednostkowej X_j dla kabli nn to 0,08 $m\Omega/m$ ([3] str. 155).

Rezystancja 2 równoległych kabli:

$$R_{k1} = \frac{0,5 \cdot l}{\gamma \cdot s} = \frac{0,5 \cdot 700}{33 \cdot 185} = 0,057 \Omega \quad (27)$$

gdzie:

γ – konduktywność żyły [$m/\Omega \cdot mm^2$], dla aluminium 33 ([3] str. 155),

s – przekrój żyły [mm^2].

Reaktancja kabla OW $4 \times 95 \text{ mm}^2$, $l = 3 \text{ m}$:

$$X_{k2} = X_j \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,08 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,00024 \Omega \quad (28)$$

Rezystancja kabla OW $4 \times 95 \text{ mm}^2$:

$$R_{k2} = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{3}{56 \cdot 95} = 0,00056 \Omega \quad (29)$$

gdzie:

γ – konduktywność materiału żył [$m/\Omega \cdot mm^2$], dla miedzi 56 ([3] str.155),

s – przekrój żyły [mm^2].

Sumaryczna reaktancja analizowanego odcinka:

$$X_k = X_{k1} + X_{k2} = 0,028 + 0,00024 = 0,0282 \Omega \quad (30)$$

Sumaryczna rezystancja analizowanego odcinka:

$$R_k = R_{k1} + R_{k2} = 0,057 + 0,00056 = 0,0576 \Omega \quad (31)$$

Spadek napięcia na odcinku stacja transformatorowa – przyłączy kablowe XR1.4 [2]:

$$\begin{aligned}\Delta U\%_k &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{Nf}} I_w \cdot (\pm R_k \cos \varphi_w + X_k \sin \varphi_w) \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{230} \cdot 103,22 \cdot (-0,0576 \cdot 0,87 + 0,0282 \cdot 0,49) = -2,82 \%\end{aligned}\quad (32)$$

4.2. SPADKI NAPIĘĆ NA ODCINKU MIĘDZY PRZYŁĄCZEM KABLOWYM XR1.4 A ROZDZIELNIĄ AA2

Rozważany odcinek składa się z kabla OW 4×95 mm² o długości $l = 1,5$ m.
Reaktancja kabla OW 4×95 mm²:

$$X_{k3} = X_j \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,08 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,00012 \Omega \quad (33)$$

Rezystancja kabla OW 4×95mm²:

$$R_{k3} = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{1,5}{56 \cdot 95} = 0,00028 \Omega \quad (34)$$

gdzie:

γ – konduktywność materiału żył [m/Ω*mm²], dla miedzi 56 ([3] str.155),
 s – przekrój żyły [mm²].

Spadek napięcia na odcinku między przyłączem kablowym XR1.4 a rozdzielnią AA2 [2]:

$$\begin{aligned}\Delta U\%_{k3} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{Nf}} I_w \cdot (\pm R_{k3} \cos \varphi_w + X_{k3} \sin \varphi_w) \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{230} \cdot 103,22 \cdot (-0,00028 \cdot 0,87 + 0,00012 \cdot 0,49) = -0,01 \%\end{aligned}\quad (35)$$

4.3. SPADKI NAPIĘĆ NA ODCINKU MIĘDZY ROZDZIELNIĄ AA2 A ROZDZIELNIĄ AA1

Rozważany odcinek składa się z kabla OW 4×95 mm² o długości $l = 15$ m.
Reaktancja kabla OW 4×95 mm²:

$$X_{k4} = X_j \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,08 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,0012 \Omega \quad (36)$$

Rezystancja kabla OW 4×95 mm²:

$$R_{k4} = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{15}{56 \cdot 95} = 0,0028 \Omega \quad (37)$$

gdzie:

γ – konduktywność materiału żył [$\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$], dla miedzi 56 ([3] str.155),

s – przekrój żyły [mm^2].

Spadek napięcia na odcinku między rozdzielnią AA2 a rozdzielnią AA1 [2]:

$$\begin{aligned} \Delta U\%_{k4} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{Nf}} I_w \cdot (\pm R_{k4} \cos \varphi_w + X_{k4} \sin \varphi_w) \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{230} \cdot 103,22 \cdot (-0,0028 \cdot 0,87 + 0,0012 \cdot 0,49) = -0,14 \% \end{aligned} \quad (38)$$

4.4. SPADKI NAPIĘĆ NA ODCINKU MIĘDZY ROZDZIELNIĄ AA2 A ROZDZIELNIĄ AA1

Rozważany odcinek składa się z kabla OW $4 \times 16 \text{ mm}^2$ o długości $l = 5 \text{ m}$.

Prąd obciążenia generatora G1:

$$I_{G1} = \frac{P_N}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos \varphi} = \frac{26,22}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,88} = 43,0 \text{ A} \quad (39)$$

Reaktancja kabla OW $4 \times 16 \text{ mm}^2$:

$$X_{k5} = X_j \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,08 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,0004 \Omega \quad (40)$$

Rezystancja kabla OW $4 \times 16 \text{ mm}^2$:

$$R_{k5} = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{5}{56 \cdot 16} = 0,0056 \Omega \quad (41)$$

gdzie:

γ – konduktywność materiału żył [$\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$], dla miedzi 56 ([3] str.155),

s – przekrój żyły [mm^2].

Spadek napięcia na odcinku między rozdzielnią AA2 a najdalej położonym generatorem G1 [2]:

$$\begin{aligned} \Delta U\%_{k5} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{Nf}} I_{G1} \cdot (\pm R_{k5} \cos \varphi_1 + X_{k5} \sin \varphi_1) \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{230} \cdot 43 \cdot (-0,0056 \cdot 0,88 + 0,0004 \cdot 0,47) = -0,15 \% \end{aligned} \quad (42)$$

Sumaryczny spadek napięcia między generatorem G1 a stacją transformatorową wynosi (spadki napięć w rozważanym układzie można sumować algebraicznie):

$$\begin{aligned}\Delta U\% &= \Delta U\%_k + \Delta U\%_{k3} + \Delta U\%_{k4} + \Delta U\%_{k5} \\ &= (-2,82) + (-0,01) + (-0,14) + (-0,15) = -3,12\%\end{aligned}\quad (43)$$

5. OBLICZENIA ZWARCIOWE

5.1. ZWARCIE TRÓJFAZOWE NA SZYNACH ZBIORCZYCH ROZDZIELNI AA1

Wartość impedancji systemu:

$$Z_q = X_q = \frac{1,1 \cdot U_N^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 400^2}{10 \cdot 10^6} = 0,018 \Omega \quad (44)$$

gdzie S_k – moc zwarciowa [VA], przyjęto $S_k = 10$ MVA.

Rezystancja zastępcza obwodu zwarciowego:

$$R_q = 0 \Omega, \quad R_t = 0,028 \Omega \quad (45)$$

$$R_l = R_k + R_{k3} + R_{k4} = 0,0576 + 0,00028 + 0,0028 = 0,061 \Omega \quad (46)$$

$$R_{kz} = R_q + R_t + R_l = 0 + 0,028 + 0,061 = 0,089 \Omega \quad (47)$$

gdzie R_t przyjęto na podstawie [3] str. 46 tab. 2.2.

Reaktancja zastępcza obwodu zwarciowego:

$$X_q = 0,018 \Omega, \quad X_t = 0,058 \Omega \quad (48)$$

$$X_l = X_k + X_{k3} + X_{k4} = 0,0282 + 0,00012 + 0,0012 = 0,030 \Omega \quad (49)$$

$$X_{kz} = X_q + X_t + X_l = 0,018 + 0,058 + 0,030 = 0,106 \Omega \quad (50)$$

gdzie X_t przyjęto na podstawie [3] str. 46 tab. 2.2.

Impedancja zastępcza obwodu zwarciowego:

$$Z_{kz} = \sqrt{R_{kz}^2 + X_{kz}^2} = \sqrt{0,089^2 + 0,106^2} = 0,138 \Omega \quad (51)$$

Prąd początkowy dopływający od systemu przy trójfazowym zwarciu symetrycznym na szynach rozdzielni AA1:

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_{kz}} = \frac{1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,138} = 1,67 \text{ kA} \quad (52)$$

gdzie c – współczynnik napięciowy (dla $U_N = 400$ V, $c = 1$ wg [3] tab. 2.1, str. 44).

5.2. ZWARCIE JEDNOFAZOWE NA SZYNACH ZBIORCZYCH ROZDZIELNI AA1

Rezystancja zastępcza zgodna:

$$R_{kz1} = R_q + R_t + 1,24 \cdot 2 \cdot R_l = 0 + 0,028 + 1,24 \cdot 2 \cdot 0,061 = 0,18 \Omega \quad (53)$$

Reaktancja zastępcza zgodna:

$$X_{kz1} = X_q + X_t + 2 \cdot X_l = 0,018 + 0,058 + 2 \cdot 0,030 = 0,14 \Omega \quad (54)$$

Impedancja zastępcza zgodna obwodu zwarciovego:

$$Z_{kz1} = \sqrt{R_{kz1}^2 + X_{kz1}^2} = \sqrt{0,18^2 + 0,14^2} = 0,23 \Omega \quad (55)$$

Najmniejsza spodziewana wartość prądu zwarcia jednofazowego z ziemią:

$$I_{k1} = \frac{0,95 \cdot U_{Nf}}{Z_{kz1}} = \frac{0,95 \cdot 230}{0,23} = 950 \text{ A} \quad (56)$$

Wartość prądu zwarciovego jest dostatecznie duża do uzyskania poprawnego działania zabezpieczeń.

6. OBCIĄŻALNOŚĆ DŁUGOTRWAŁA

Obciążalności poszczególnych odcinków sieci wynoszą [4]:

- Kabla YAKY 4×185 mm² w osłonie kablowej w ziemi wynosi 200 A w temperaturze otoczenia 20 °C. Prąd obciążenia $I_w = 103,22$ A, więc przekrój jest wystarczający;
- Przewodu OW 4×95 mm² w rurze instalacyjnej wynosi 207 A w temperaturze otoczenia 20 °C. Prąd obciążenia $I_w = 103,22$ A, więc przekrój jest wystarczający;
- Przewodu OW 4×16 mm² w rurze instalacyjnej wynosi 68 A w temperaturze otoczenia 20 °C. Prąd obciążenia $I_{G1,2} = 43$ A, więc przekrój jest wystarczający;
- Przewodu OW 4×10 mm² w rurze instalacyjnej wynosi 50 A w temperaturze otoczenia 20 °C. Prąd obciążenia $I_{G3} = 17,7$ A, więc przekrój jest wystarczający.

7. PODSUMOWANIE

Wszystkie analizowane przypadki mieszczą się w granicach norm. Należy jeszcze sprawdzić poprawność nastawień zabezpieczeń pracujących w analizowanym układzie. Gdyby z sieci nn, do której podłączona jest elektrownia, byli zasilani inni od-

biorcy, to należałoby również obliczyć zmiany poziomu napięcia wywoływane załączeniem i wyłączeniem elektrowni. W analizowanym przypadku moc elektrowni jest tak mała, że nie trzeba sprawdzać zmiany poziomu mocy zwarciowej w miejscu przyłączenia. Elektrownia nie należy do tzw. „źródeł niespokojnych”, więc nie trzeba badać problemu migotania światła. Nie generuje harmonicznych. Natomiast należy przeanalizować sposób łączenia generatorów z systemem – czy nie jest konieczny rozruch silnikowy – i w takim przypadku sprawdzić czy spadki napięć wywołwane przez maszyny nie przekraczają 10%.

LITERATURA

- [1] DOŁĘGA W., KOBUSIŃSKI M., *Projektowanie instalacji elektrycznych w obiektach przemysłowych. Zagadnienia wybrane*, Oficyna Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2009.
- [2] KAROLEWSKI B., LIGOCKI P., *Analiza połączenia małej elektrowni wodnej z systemem elektroenergetycznym*, Wiadomości Elektrotechniczne, 5/2005.
- [3] MARKIEWICZ H., *Instalacje elektryczne*, WNT, Warszawa 2005.
- [4] PN-IEC 60364-5-523:2001: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych*.
- [5] Praca zbiorowa pod red. M. Hoffmana, *Małe elektrownie wodne, poradnik*, Wydawnictwo Nabba, Warszawa 1992.
- [6] ROJEWSKI W., SOBIERAJSKI M., *Warunki pracy małej elektrowni wodnej z generatorem indukcyjnym w sieci średniego napięcia*, Wiadomości Elektrotechniczne, 9/2004.

ANALYSIS OF SMALL WATER POWER STATION SUPPLYING SYSTEM

Method of determine the electrical parameters of the system on example of small hydro power plant equipped with three induction generators with a total power of 60 kW, was shown. Adopt scheme of low voltage electrical network sector for which power station is include. Loads of sections of network and voltage drops were determined. Analyze the three-phase and single-phase short circuit currents on the busbar system of the plant. The calculations allow to evaluate influence of power station on the network to which it was attached.