

7 OBLICZENIA TECHNICZNE.

7.1 Dane do obliczeń z WPP.

Parametry techniczne zasilania ze stacji EC Tychy (zasilanie podstawowe):

Sieć zasilana z rozdzielni 20kV w stacji EC Tychy system 2B pole nr 16 linia Cielmice.

- Moc zwarciova • $S_{zw} = 308,2 \text{ MVA}$
- Prąd pojemnościowy system 2B • $I_{CS} = 117,37 \text{ A}$
Prąd reszkowy system 2B • $I_{Res} = 2,27 \text{ A}$
- Prąd pojemnościowy system 2A • $I_{CS} = 154,65 \text{ A}$
Prąd reszkowy system 2A • $I_{Res} = 34,65 \text{ A}$
- Nastawa zabezpieczeń ziemnozwarciowych • 3s + pełny cykl SPZ
- Praca punktu neutralnego • Sieć zasilająca pracuje w układzie dekompensacji, z możliwością pracy przy zamkniętym sprzęgle pomiędzy systemami 2A i 2B

Długość linii SN od EC Tychy system 2B – pole 16 Linia Cielmice do miejsca włączenia do sieci wynosi odpowiednio:

- RL1 – linia napowietrzna SN 70mm² o długości: 16995m,
- RL2 – linia kablowa SN 240mm² o długości – 1354m,
- RL3 – linia kablowa SN 120mm² o długości – 1250m,
- RL4 – projektowana (w ramach odrębnego opracowania) linia kablowa SN 240mm² o długości – 1060m,
- RL5 – projektowana linia kablowa SN 120mm² o długości – 380m.

Parametry techniczne zasilania ze stacji GPZ Łędziny (zasilanie rezerwowe):

Sieć zasilana z rozdzielni 20kV w stacji GPZ Łędziny pole nr 4 BIERUŃ.

- Moc zwarciova • $S_{zw} = 214,4 \text{ MVA}$
- Prąd pojemnościowy • $I_{CS} = 88,92 \text{ A}$
- Nastawa zabezpieczeń ziemnozwarciowych • 1,5s + pełny cykl SPZ
- Praca punktu neutralnego • izolowany

Długość linii SN od GPZ Łędziny – pole 4 BIERUŃ do miejsca przyłączenia wynosi:

- RL1 – linia kablowa SN 240mm² o długości – 85m,
- RL2 – linia napowietrzna nieizolowana SN 50mm² o długości – 5018m,
- RL3 – linia napowietrzna izolowana SN 70mm² o długości – 936m,
- RL4 – linia napowietrzna nieizolowana SN 50mm² o długości – 1090m,
- RL5 – linia napowietrzna izolowana SN 70mm² o długości – 1128m,
- RL6 – linia kablowa SN 240mm² o długości – 170m,
- RL7 – linia napowietrzna izolowana SN 70mm² o długości – 566m,
- RL8 – linia napowietrzna nieizolowana SN 50mm² o długości – 66m,
- RL9 – linia napowietrzna nieizolowana SN 70mm² o długości – 6048m,
- RL10 – linia kablowa SN 120mm² o długości – 40m,
- RL11 – projektowana (w ramach odrębnego opracowania) linia kablowa SN 240mm² o długości – 1060m,

- RL12 – projektowana linia kablowa SN 120mm² o długości – 380m.

7.2 Obliczanie parametrów zwarciovych dla linii zasilanej ze stacji EC Tychy.

7.2.1 Obliczenia parametrów zwarciovych po stronie SN.

Na podstawie otrzymanych wytycznych impedancja zwarciova źródła wynosi:

$$Z_{kQ} = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{S_{kQ}} = \frac{1,1 \cdot 20^2}{308,2} = 1,43\Omega$$

Zakładając, że rezystancja pętli zwarcia jest pomijalnie mała ($0,1 \cdot Z_{kQ}$), przyjmujemy:

$$X_{kQ} = Z_{kQ}$$

Linia napowietrzna SN 70mm charakteryzującą się parametrami: $R_k = 0,441 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $X_k = 0,395 \frac{\Omega}{\text{km}}$

Linia kablowa SN 240mm charakteryzującą się parametrami: $R_k = 0,165 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $X_k = 0,11 \frac{\Omega}{\text{km}}$

Linia kablowa SN 120mm charakteryzującą się parametrami: $R_k = 0,328 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $X_k = 0,122 \frac{\Omega}{\text{km}}$

W związku z powyższym:

$$R_{L1} = 7,495\Omega, \quad X_{L1} = 6,713\Omega \quad \Rightarrow Z_{L1} = \sqrt{R_{L1}^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{7,495^2 + 6,713^2} = 10,06\Omega$$

$$R_{L2} = 0,223\Omega, \quad X_{L2} = 0,149\Omega \quad \Rightarrow Z_{L2} = \sqrt{R_{L2}^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{0,223^2 + 0,149^2} = 0,27\Omega$$

$$R_{L3} = 0,41\Omega, \quad X_{L3} = 0,153\Omega \quad \Rightarrow Z_{L3} = \sqrt{R_{L3}^2 + X_{L3}^2} = \sqrt{0,41^2 + 0,153^2} = 0,44\Omega$$

$$R_{L4} = 0,175\Omega, \quad X_{L4} = 0,117\Omega \quad \Rightarrow Z_{L4} = \sqrt{R_{L4}^2 + X_{L4}^2} = \sqrt{0,175^2 + 0,117^2} = 0,21\Omega$$

$$R_{L5} = 0,125\Omega, \quad X_{L5} = 0,046\Omega \quad \Rightarrow Z_{L5} = \sqrt{R_{L5}^2 + X_{L5}^2} = \sqrt{0,125^2 + 0,046^2} = 0,13\Omega$$

Impedancja obwodu zwarciovego wynosi:

$$R_Z = R_{L1} + R_{L2} + R_{L3} + R_{L4} + R_{L5} = 7,495 + 0,223 + 0,41 + 0,175 + 0,125 = 8,428\Omega$$

$$X_Z = X_{kQ} + X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + X_{L4} + X_{L5} = 1,43 + 6,713 + 0,149 + 0,153 + 0,117 + 0,046 = 8,605\Omega$$

$$Z_Z = \sqrt{R_Z^2 + X_Z^2} = \sqrt{8,427^2 + 8,605^2} = 12,05\Omega$$

Prąd zwarciovy początkowy obliczono ze wzoru:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_Z} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12,05} = 1,054\text{kA}$$

Współczynnik udaru wynosi:

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-\frac{3R}{X}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \frac{8,427}{8,605}} = 1,07$$

Prąd cieplny jednosekundowy (przy $t_{zw}=0,1\text{s}$) obliczamy ze wzoru:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 1,054 \cdot \sqrt{0,1+1} = 1,1\text{kA}$$

Prąd udarowy obliczamy ze wzoru:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,07 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,054 = 1,6\text{kA}$$

7.2.2 Obliczenia parametrów zwarciovych po stronie nN.

7.2.2.1 Obliczenia dla układu sieci IT napięcie 0,5kV.

Dane wyjściowe do obliczeń:

- transformator zasilający: 630 kVA
- przekładnia: 21/0,525kV
- napięcie znamionowe: 20/0,5kV
- linia kablowa zasilająca rozdzielnicę: 4x YAKXS 3x1x240 o długości ok. 45m
- zabezpieczenie główne w rozdzielnicy: wyłącznik mocy powietrzny EntelliGuardG 1250A

Ze względu na krótkie odcinki linii kablowych i/lub szyn miedzianych w stacji transformatorowej na połączeniu transformatora z polami odpiłowymi nN i ich nieznaczny wpływ na obliczenia parametrów zwarciovych zostały one pominięte w obliczeniach.

Impedancja zwarciova poprzedzająca układ zasilania wynosi:

$$Z_{kQ 0,5} = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{S_{kQ}} \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 20^2}{308,2} \cdot \left(\frac{525}{20000} \right)^2 = 0,000984 \Omega$$

Zakładając, że rezystancja pętli zwarcia jest pomijalnie mała ($0,1 \cdot Z_{kQ}$), przyjmujemy:

$$X_{kQ 0,5} = Z_{kQ}$$

Impedancja obwodu zwarciovego po stronie SN przeliczona na stronę nN wynosi:

$$R_{Z 0,5} = R_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 8,428 \cdot \left(\frac{525}{20000} \right)^2 = 0,00581 \Omega$$

$$X_{Z 0,5} = X_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 8,605 \cdot \left(\frac{525}{20000} \right)^2 = 0,00593 \Omega$$

$$Z_{Z 0,5} = \sqrt{R_{Z 0,5}^2 + X_{Z 0,5}^2} = \sqrt{0,00581^2 + 0,00593^2} = 0,0083 \Omega$$

Impedancja transformatora wynosi:

$$S_{NT} = 630 \text{ kVA}$$

$$\Delta P_{ZW} = 6\%$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{Cu\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,0027 \Omega$$

$$X_T = \frac{\Delta P_{zw\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,015 \Omega$$

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{0,0027^2 + 0,015^2} = 0,015 \Omega$$

Impedancja linii kablowej 4x YAKXS 3x1x240mm² o długości ok. 45m, zasilająca rozdzielnicę RG-500 wynosi:

$$R_L = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{45}{33 \cdot 240 \cdot 4} = 0,00142 \Omega$$

$$X_L = x' \cdot l = \frac{0,079}{4} \cdot 0,045 = 0,00089 \Omega$$

Impedancję obwodu zwarciovego trójfazowego na szynach zasilających rozdzielnic RG-500 obliczono na podstawie wzorów i wynosi:

$$R_k = R_Q + R_{Z0,5} + R_T + R_L = 0 + 0,00581 + 0,0027 + 0,00142 = 0,00993\Omega$$

$$X_k = X_Q + X_{Z0,5} + X_T + X_L = 0,000984 + 0,00593 + 0,015 + 0,00089 = 0,0228\Omega$$

$$Z_S = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,00993^2 + 0,0228^2} = 0,0249\Omega$$

Początkowy prąd zwarcia przy zwarciu trójfazowym wynosi:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1 \cdot 500}{\sqrt{3} \cdot 0,0249} = 11,6\text{kA}$$

Prąd zwarcia dwufazowego z pominięciem ziemi wynosi:

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k'' = 10,04\text{kA}$$

7.2.2.2 Obliczenia dla układu sieci TN napięcie 0,4kV.

Dane wyjściowe do obliczeń:

- transformator zasilający: 160 kVA
- przekładnia: 21/0,42kV
- napięcie znamionowe: 20/0,4kV
- linia kablowa zasilająca rozdzielnicę: 2x YAKXS 4x1x120 o długości ok. 55m
- zabezpieczenie główne w rozdzielnicy: wyłącznik mocy powietrzny EntelliGuardG 400A

Ze względu na krótkie odcinki linii kablowych i/lub szyn miedzianych w stacji transformatorowej na połączeniu transformatora z polami odpływowymi nN i ich nieznaczny wpływ na obliczenia parametrów zwarciovych zostały one pominięte w obliczeniach.

Impedancja zwarciova poprzedzająca układ zasilania wynosi:

$$Z_{kQ0,4} = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{S_{kQ}} \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 20^2}{308,2} \cdot \left(\frac{420}{20000} \right)^2 = 0,00064\Omega$$

Zakładając, że rezystancja pętli zwarcia jest pomijalnie mała ($0,1 \cdot Z_{kQ}$), przyjmujemy:

$$X_{kQ0,4} = Z_{kQ}$$

Impedancja obwodu zwarciovego po stronie SN przeliczona na stronę nN wynosi:

$$R_{Z0,4} = R_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 8,428 \cdot \left(\frac{420}{20000} \right)^2 = 0,00381\Omega$$

$$X_{Z0,4} = X_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 8,605 \cdot \left(\frac{420}{20000} \right)^2 = 0,00389\Omega$$

$$Z_{Z0,4} = \sqrt{R_{Z0,4}^2 + X_{Z0,4}^2} = \sqrt{0,00381^2 + 0,00389^2} = 0,0054\Omega$$

Impedancja transformatora wynosi:

$$S_{NT} = 160\text{kVA}$$

$$\Delta P_{ZW} = 6\%$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{Cu\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,015\Omega$$

$$X_T = \frac{\Delta P_{zw\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,0421\Omega$$

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{0,015^2 + 0,0421^2} = 0,045\Omega$$

Impedancja linii kablowej 2x YAKXS 4x1x120mm² o długości ok. 55m, zasilająca rozdzielnicę RG-500 wynosi:

$$R_L = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{55}{33 \cdot 120 \cdot 2} = 0,00694\Omega$$

$$X_L = x' \cdot l = \frac{0,079}{2} \cdot 0,055 = 0,00217\Omega$$

Impedancję obwodu zwarciovego trójfazowego na szynach zasilających rozdzielnicę RG-380/220 obliczono na podstawie wzorów i wynosi:

$$R_k = R_Q + R_{Z_{0,4}} + R_T + R_L = 0 + 0,00381 + 0,015 + 0,00694 = 0,02575\Omega$$

$$X_k = X_Q + X_{Z_{0,4}} + X_T + X_L = 0,00064 + 0,00389 + 0,0421 + 0,00217 = 0,0488\Omega$$

$$Z_S = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,02575^2 + 0,0488^2} = 0,055\Omega$$

Początkowy prąd zwarcia przy zwarciu trójfazowym wynosi:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_S} = \frac{1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,055} = 4,2\text{kA}$$

Impedancja obwodu zwarciovego jednofazowego na szynach zasilających rozdzielnicę RG-380/220 obliczono na podstawie wzorów i wynosi:

$$R_k = R_Q + R_T + 1,24 \cdot (2 \cdot R_L) = 0 + 0,015 + 1,24 \cdot (2 \cdot 0,00694) = 0,0322\Omega$$

$$X_k = X_Q + X_T + 2 \cdot X_L = 0,00064 + 0,0421 + (2 \cdot 0,00217) = 0,0471\Omega$$

$$Z_S = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,0322^2 + 0,0471^2} = 0,05705\Omega$$

Początkowy prąd zwarcia przy zwarciu jednofazowym wynosi:

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot U_{nf}}{Z_{k1}} = \frac{0,95 \cdot 230}{0,05705} = 3,83\text{kA}$$

7.2.3 Obliczenia skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.

Skuteczność ochrony przeciwporażeniowej jest zachowana, gdy obliczona impedancja pętli zwarcia jest mniejsza od maksymalnej impedancji, przy której wystąpi zadziałanie zabezpieczeń.

7.2.3.1 Skuteczność ochrony w sieci IT 500V.

Układ zasilania odbiorów z rozdzielnicę RG-500 pozostaje istniejący, wymianie podlegają jedynie wyłączniki w polach zasilających.

Warunek skuteczności ochrony przy pierwszym uszkodzeniu (zwarciu doziemnym) jest zachowany gdy napięcie względem ziemi nie przekroczy największego dopuszczalnego długotrwałe napięcia dotykowego $\leq 50V$. Za odpowiednio małą rezystancję uziemienia w celu zapewnienia warunku uznaje się wartość 20Ω .

Warunek skuteczności ochrony przy zwarciu dwumiejscowym jest zachowany gdy spełniona jest zależność:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

gdzie:

Z_s – impedancja pętli zwarciowej [Ω],

U – napięcie nominalne układu [V],

I_a – prąd wyłączający urządzenia zabezpieczającego rozpatrywany obwód [A],

Do zabezpieczenia szyn w rozdzielnicy, zastosowano wyłącznik mocy z zabezpieczeniem zwarciovym bezzwłocznym o wartości pobudzenia równym $5xI_n$ (wartość przybliżona do stanu istniejącego).

Prąd wyłączający I_a przy wymaganym czasie wyłączenia 0,1s zgodnie z charakterystyką wynosi:

$$I_a = 5 \cdot 1250 = 6250A$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie jest zachowany, gdyż:

$$Z_s = 0,0249 \leq \frac{U}{2 \cdot I_a} = \frac{500}{2 \cdot 6250} = 0,04$$

Zastosowane zabezpieczenie zadziała w czasie krótszym niż 0,1 sek.

7.2.3.2 Skuteczność ochrony w sieci TN 400/230V.

Układ zasilania odbiorów z rozdzielnicy RG-380/220 pozostaje istniejący, wymianie podlegają jedynie wyłączniki w polach zasilających.

Obliczenia wykonano od jednostek transformatorowych do szyn rozdzielczych rozdzielnicy RG-380/220.

Warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie uznaje się za spełniony, jeśli jest zachowana zależność:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$$

Do zabezpieczenia szyn w rozdzielnicy, zastosowano wyłącznik mocy z zabezpieczeniem zwarciovym bezzwłocznym o wartości pobudzenia równym $7,5xI_n$ (wartość zgodna ze stanem istniejącym).

Prąd wyłączający I_a przy wymaganym czasie wyłączenia 0,1s zgodnie z charakterystyką wynosi:

$$I_a = 7,5 \cdot 400 = 3000A$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie jest zachowany, gdyż:

$$Z_s = 0,05705 \leq \frac{U_0}{I_a} = \frac{230}{3000} = 0,0767$$

Zastosowane zabezpieczenie w przypadku zwarcia jednofazowego zadziała w czasie krótszym niż 0,1 sek.

7.3 Obliczanie parametrów zwarciovych dla linii zasilanej ze stacji GPZ Łędziny.

7.3.1 Obliczenia parametrów zwarciovych po stronie SN.

Na podstawie otrzymanych wytycznych impedancja zwarciova źródła wynosi:

$$Z_{kQ} = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{S_{kQ}} = \frac{1,1 \cdot 20^2}{214,4} = 2,05 \Omega$$

Zakładając, że rezystancja pętli zwarcia jest pomijalnie mała ($0,1 * Z_{kQ}$), przyjmujemy:

$$X_{kQ} = Z_{kQ}$$

Linia napowietrzna SN 70mm charakteryzującą się parametrami: $R_k = 0,441 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $X_k = 0,395 \frac{\Omega}{\text{km}}$

Linia napowietrzna SN 50mm charakteryzującą się parametrami: $R_k = 0,606 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $X_k = 0,405 \frac{\Omega}{\text{km}}$

Linia kablowa SN 240mm charakteryzującą się parametrami: $R_k = 0,165 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $X_k = 0,11 \frac{\Omega}{\text{km}}$

Linia kablowa SN 120mm charakteryzującą się parametrami: $R_k = 0,328 \frac{\Omega}{\text{km}}$, $X_k = 0,122 \frac{\Omega}{\text{km}}$

W związku z powyższym:

$$\begin{aligned} R_{L1} = 0,014\Omega, \quad X_{L1} = 0,009\Omega &\Rightarrow Z_{L1} = \sqrt{R_{L1}^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{0,014^2 + 0,009^2} = 0,016\Omega \\ R_{L2} = 3,041\Omega, \quad X_{L2} = 2,03\Omega &\Rightarrow Z_{L2} = \sqrt{R_{L2}^2 + X_{L2}^2} = \sqrt{3,041^2 + 2,03^2} = 3,656\Omega \\ R_{L3} = 0,413\Omega, \quad X_{L3} = 0,369\Omega &\Rightarrow Z_{L3} = \sqrt{R_{L3}^2 + X_{L3}^2} = \sqrt{0,413^2 + 0,369^2} = 0,554\Omega \\ R_{L4} = 0,66\Omega, \quad X_{L4} = 0,441\Omega &\Rightarrow Z_{L4} = \sqrt{R_{L4}^2 + X_{L4}^2} = \sqrt{0,66^2 + 0,441^2} = 0,794\Omega \\ R_{L5} = 0,497\Omega, \quad X_{L5} = 0,446\Omega &\Rightarrow Z_{L5} = \sqrt{R_{L5}^2 + X_{L5}^2} = \sqrt{0,497^2 + 0,446^2} = 0,668\Omega \\ R_{L6} = 0,028\Omega, \quad X_{L6} = 0,019\Omega &\Rightarrow Z_{L6} = \sqrt{R_{L6}^2 + X_{L6}^2} = \sqrt{0,028^2 + 0,019^2} = 0,034\Omega \\ R_{L7} = 0,249\Omega, \quad X_{L7} = 0,223\Omega &\Rightarrow Z_{L7} = \sqrt{R_{L7}^2 + X_{L7}^2} = \sqrt{0,249^2 + 0,223^2} = 0,334\Omega \\ R_{L8} = 0,039\Omega, \quad X_{L8} = 0,026\Omega &\Rightarrow Z_{L8} = \sqrt{R_{L8}^2 + X_{L8}^2} = \sqrt{0,039^2 + 0,026^2} = 0,047\Omega \\ R_{L9} = 2,667\Omega, \quad X_{L9} = 2,389\Omega &\Rightarrow Z_{L9} = \sqrt{R_{L9}^2 + X_{L9}^2} = \sqrt{2,667^2 + 2,389^2} = 3,58\Omega \\ R_{L10} = 0,013\Omega, \quad X_{L10} = 0,049\Omega &\Rightarrow Z_{L10} = \sqrt{R_{L10}^2 + X_{L10}^2} = \sqrt{0,013^2 + 0,049^2} = 0,05\Omega \\ R_{L11} = 0,175\Omega, \quad X_{L11} = 0,117\Omega &\Rightarrow Z_{L11} = \sqrt{R_{L11}^2 + X_{L11}^2} = \sqrt{0,175^2 + 0,117^2} = 0,21\Omega \\ R_{L12} = 0,125\Omega, \quad X_{L12} = 0,046\Omega &\Rightarrow Z_{L12} = \sqrt{R_{L12}^2 + X_{L12}^2} = \sqrt{0,125^2 + 0,046^2} = 0,13\Omega \end{aligned}$$

Impedancja obwodu zwarciovego wynosi:

$$\begin{aligned} R_Z &= R_{L1} + R_{L2} + R_{L3} + R_{L4} + R_{L5} + R_{L6} + R_{L7} + R_{L8} + R_{L9} + R_{L10} + R_{L11} + R_{L12} = \\ &= 0,014 + 3,041 + 0,413 + 0,66 + 0,497 + 0,028 + 0,249 + 0,039 + 2,667 + 0,013 + 0,175 + 0,125 = \\ &= 7,923\Omega \end{aligned}$$

$$X_Z = X_{kQ} + X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + X_{L4} + X_{L5} + X_{L6} + X_{L7} + X_{L8} + X_{L9} + X_{L10} + X_{L11} + X_{L12} =$$

$$= 2,05 + 0,009 + 2,03 + 0,37 + 0,44 + 0,446 + 0,02 + 0,224 + 0,027 + 2,389 + 0,005 + 0,117 + 0,046 = 8,176\Omega$$

$$Z_Z = \sqrt{R_Z^2 + X_Z^2} = \sqrt{7,923^2 + 8,176^2} = 11,39\Omega$$

Prąd zwarciovowy początkowy obliczono ze wzoru:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_Z} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11,39} = 1,12 \text{ kA}$$

Współczynnik udaru wynosi:

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-\frac{3R}{X}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot \frac{7,923}{8,176}} = 1,07$$

Prąd cieplny jednosekundowy (przy $t_{zw}=0,1\text{s}$) obliczamy ze wzoru:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} = 1,12 \cdot \sqrt{0,1 + 1} = 1,17 \text{ kA}$$

Prąd udarowy obliczamy ze wzoru:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,07 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,12 = 1,69 \text{ kA}$$

7.3.2 Obliczenia parametrów zwarciovych po stronie nN.

7.3.2.1 Obliczenia dla układu sieci IT napięcie 0,5kV.

Dane wyjściowe do obliczeń:

- transformator zasilający: 640 kVA
- przekładnia: 20/0,525kV
- napięcie znamionowe: 20/0,5kV
- linia kablowa zasilająca rozdzielnicę: 4x YAKXS 3x1x240 o długości 45m
- zabezpieczenie główne w rozdzielnicy: wyłącznik mocy powietrzny EntelliGuardG 1250A

Ze względu na krótkie odcinki linii kablowych i/lub szyn miedzianych w stacji transformatorowej na połączeniu transformatora z polami odpiwowymi nN i ich nieznaczny wpływ na obliczenia parametrów zwarciovych zostały one pominięte w obliczeniach.

Impedancja zwarciovowa poprzedzająca układ zasilania wynosi:

$$Z_{kQ 0,5} = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{S_{kQ}} \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 20^2}{214,4} \cdot \left(\frac{525}{20000} \right)^2 = 0,00141\Omega$$

Zakładając, że rezystancja pętli zwarcia jest pomijalnie mała ($0,1 \cdot Z_{kQ}$), przyjmujemy:

$$X_{kQ 0,5} = Z_{kQ}$$

Impedancja obwodu zwarciovego po stronie SN przeliczona na stronę nN wynosi:

$$R_{Z 0,5} = R_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 7,923 \cdot \left(\frac{525}{20000} \right)^2 = 0,00546\Omega$$

$$X_{Z 0,5} = X_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 8,176 \cdot \left(\frac{525}{20000} \right)^2 = 0,00563\Omega$$

$$Z_{Z 0,5} = \sqrt{R_{Z 0,5}^2 + X_{Z 0,5}^2} = \sqrt{0,00546^2 + 0,00563^2} = 0,007845\Omega$$

Impedancja transformatora wynosi:

$$S_{NT} = 640 \text{ kVA}$$

$$\Delta P_{ZW} = 6\%$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{Cu\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,0027 \Omega$$

$$X_T = \frac{\Delta P_{zw\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,015 \Omega$$

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{0,0027^2 + 0,015^2} = 0,015 \Omega$$

Impedancja linii kablowej 4x YAKXS 3x1x240mm² o długości ok. 45m, zasilająca rozdzielnicę RG-500 wynosi:

$$R_L = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{45}{33 \cdot 240 \cdot 4} = 0,00142 \Omega$$

$$X_L = x' \cdot l = \frac{0,079}{4} \cdot 0,045 = 0,00089 \Omega$$

Impedancję obwodu zwarciovego trójfazowego na szynach zasilających rozdzielnicę RG-500 obliczono na podstawie wzorów i wynosi:

$$R_k = R_Q + R_{Z,0,5} + R_T + R_L = 0 + 0,00546 + 0,0027 + 0,00142 = 0,00958 \Omega$$

$$X_k = X_Q + X_{Z,0,5} + X_T + X_L = 0,00141 + 0,00563 + 0,015 + 0,00089 = 0,02293 \Omega$$

$$Z_s = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,00958^2 + 0,02293^2} = 0,02485 \Omega$$

Początkowy prąd zwarcia przy zwarciu trójfazowym wynosi:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,02485} = 9,3 \text{ kA}$$

Prąd zwarcia dwufazowego z pominięciem ziemi wynosi:

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k'' = 8,05 \text{ kA}$$

7.3.2.2 Obliczenia dla układu sieci TN napięcie 0,4kV.

Dane wyjściowe do obliczeń:

- transformator zasilający: 160 kVA
- przekładnia: 20/0,425kV
- napięcie znamionowe: 20/0,4kV
- linia kablowa zasilająca rozdzielnicę: 2x YAKXS 4x1x120 o długości 55m
- zabezpieczenie główne w rozdzielnicy: wyłącznik mocy powietrzny EntelliGuardG 400A

Ze względu na krótkie odcinki linii kablowych i/lub szyn miedzianych w stacji transformatorowej na połączeniu transformatora z polami odpiłowymi nN i ich nieznaczny wpływ na obliczenia parametrów zwarciovych zostały one pominięte w obliczeniach.

Impedancja zwarciovą poprzedzającą układ zasilania wynosi:

$$Z_{kQ 0,4} = \frac{1,1 \cdot U_n^2}{S_{kQ}} \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 20^2}{214,4} \cdot \left(\frac{420}{20000} \right)^2 = 0,00091\Omega$$

Zakładając, że rezystancja pętli zwarcia jest pomijalnie mała ($0,1 \cdot Z_{kQ}$), przyjmujemy:

$$X_{kQ 0,4} = Z_{kQ}$$

Impedancja obwodu zwarciego po stronie SN przeliczona na stronę nN wynosi:

$$R_{Z 0,4} = R_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 7,923 \cdot \left(\frac{420}{20000} \right)^2 = 0,00349\Omega$$

$$X_{Z 0,4} = X_Z \cdot \left(\frac{U_{rT2}}{U_{rT1}} \right)^2 = 8,176 \cdot \left(\frac{420}{20000} \right)^2 = 0,00361\Omega$$

$$Z_{Z 0,4} = \sqrt{R_{Z 0,4}^2 + X_{Z 0,4}^2} = \sqrt{0,00349^2 + 0,00361^2} = 0,00502\Omega$$

Impedancja transformatora wynosi:

$$S_{NT} = 160\text{kVA}$$

$$\Delta P_{ZW} = 6\%$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{Cu\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,015\Omega$$

$$X_T = \frac{\Delta P_{ZW\%} \cdot U_N^2}{100 \cdot S_{NT}} = 0,0421\Omega$$

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} = \sqrt{0,015^2 + 0,0421^2} = 0,045\Omega$$

Impedancja linii kablowej 2x YAKXS 4x1x120mm² o długości ok. 55m, zasilająca rozdzielnicę RG-380/220 wynosi:

$$R_L = \frac{l}{\gamma \cdot s} = \frac{55}{33 \cdot 120 \cdot 2} = 0,00694\Omega$$

$$X_L = x' \cdot l = \frac{0,079}{2} \cdot 0,055 = 0,00217\Omega$$

Impedancję obwodu zwarciego trójfazowego na szynach zasilających rozdzielnicę RG-380/220 obliczono na podstawie wzorów i wynosi:

$$R_k = R_Q + R_{Z 0,4} + R_T + R_L = 0 + 0,00349 + 0,015 + 0,00694 = 0,02543\Omega$$

$$X_k = X_Q + X_{Z 0,4} + X_T + X_L = 0,00091 + 0,00361 + 0,0421 + 0,00217 = 0,04879\Omega$$

$$Z_S = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,02543^2 + 0,04879^2} = 0,055\Omega$$

Początkowy prąd zwarcia przy zwarciu trójfazowym wynosi:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_S} = \frac{1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,055} = 4,2\text{kA}$$

Impedancja obwodu zwarciego jednofazowego na szynach zasilających rozdzielnicę RG-380/220 obliczono na podstawie wzorów i wynosi:

$$R_k = R_Q + R_T + 1,24 \cdot (2 \cdot R_L) = 0 + 0,015 + 1,24 \cdot (2 \cdot 0,00694) = 0,0322\Omega$$

$$X_k = X_Q + X_T + 2 \cdot X_L = 0,00093 + 0,0421 + (2 \cdot 0,00217) = 0,0474\Omega$$

$$Z_s = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{0,0322^2 + 0,0474^2} = 0,0573\Omega$$

Początkowy prąd zwarcia przy zwarcu jednofazowym wynosi:

$$I_{k1}'' = \frac{c \cdot U_{nf}}{Z_{k1}} = \frac{0,95 \cdot 230}{0,0573} = 3,8\text{kA}$$

7.3.3 Obliczenia skuteczności ochrony przeciwporażeniowej.

Skuteczność ochrony przeciwporażeniowej jest zachowana, gdy obliczona impedancja pętli zwarcia jest mniejsza od maksymalnej impedancji, przy której wystąpi zadziałanie zabezpieczeń.

7.3.3.1 Skuteczność ochrony w sieci IT 500V.

Układ zasilania odbiorów z rozdzielnic RG-500 pozostaje istniejący, wymianie podlegają jedynie wyłączniki w polach zasilających.

Warunek skuteczności ochrony przy pierwszym uszkodzeniu (zwarcu doziemnym) jest zachowany gdy napięcie względem ziemi nie przekroczy największego dopuszczalnego długotrwałe napięcia dotykowego $\leq 50\text{V}$. Za odpowiednio małą rezystancję uziemienia w celu zapewnienia warunku uznaje się wartość 20Ω .

Warunek skuteczności ochrony przy zwarcu dwumiejscowym jest zachowany gdy spełniona jest zależność:

$$Z_s \leq \frac{U}{2 \cdot I_a}$$

gdzie:

Z_s – impedancja pętli zwarciowej [Ω],

U – napięcie nominalne układu [V],

I_a – prąd wyłączający urządzenia zabezpieczającego rozpatrywany obwód [A],

Do zabezpieczenia szyn w rozdzielnicy, zastosowano wyłącznik mocy z zabezpieczeniem zwarciovym bezwłocznym o wartości pobudzenia równym $5xI_n$ (wartość przybliżona do stanu istniejącego).

Prąd wyłączający I_a przy wymaganym czasie wyłączenia 0,1s zgodnie z charakterystyką wynosi:

$$I_a = 5 \cdot 1250 = 6250\text{A}$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie jest zachowany, gdyż:

$$Z_s = 0,02485 \leq \frac{U}{2 \cdot I_a} = \frac{500}{2 \cdot 6250} = 0,04$$

Zastosowane zabezpieczenie zadziała w czasie krótszym niż 0,1 sek.

7.3.3.2 Skuteczność ochrony w sieci TN 400/230V.

Układ zasilania odbiorów z rozdzielnic RG-380/220 pozostaje istniejący, wymianie podlegają jedynie wyłączniki w polach zasilających.

Obliczenia wykonano od jednostek transformatorowych do szyn rozdzielczych rozdzielnic RG-380/220.

Warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie uznaje się za spełniony, jeśli jest zachowana zależność:

$$Z_s \leq \frac{U_0}{I_a}$$

Do zabezpieczenia szyn w rozdzielnicy, zastosowano wyłącznik mocy z zabezpieczeniem zwarciovym bezzwłocznym o wartości pobudzenia równym $7,5 \times I_n$ (wartość zgodna ze stanem istniejącym).

Prąd wyłączający I_a przy wymaganym czasie wyłączenia 0,1s zgodnie z charakterystyką wynosi:

$$I_a = 7,5 \cdot 400 = 3000A$$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że warunek samoczynnego wyłączenia zasilania w wymaganym czasie jest zachowany, gdyż:

$$Z_s = 0,0573 \leq \frac{U_0}{I_a} = \frac{230}{3000} = 0,0767$$

Zastosowane zabezpieczenie w przypadku zwarcia jednofazowego zadziała w czasie krótszym niż 0,1 sek.

7.4 Sprawdzenie przekroju kabli WLZ.

Sprawdzenie doboru przekrojów kabli zasilających rozdzielnice i tablice bezpiecznikowych zostało wykonane na podstawie poniższych wzorów.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli: Dobór przekroju kabli wewnętrznych linii zasilających.

Prąd obliczeniowy obciążenia wynosi:

$$I_B = \frac{P_{Max}}{\sqrt{3} \cdot U_p \cdot \cos\varphi}$$

Warunek 1: Dobór przewodu na obciążalność długotrwałą;

$$I_B \leq I_Z$$

gdzie:

I_B – obliczony prąd obciążenia

I_Z – obciążalność prądowa długotrwałą zabezpieczonych przewodów

Warunek 2: zabezpieczenie kabla przed skutkami przeciążeń;

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

gdzie:

I_2 – prąd zadziałania urządzenia zabezpieczającego

I_Z – obciążalność prądowa długotrwałą zabezpieczonych przewodów

$$I_2 = 1,6 \cdot I_{NF}$$

gdzie:

I_{NF} – prąd znamionowy bezpiecznika

Warunek 3: Obliczenia spadku napięcia;

Długość linii zasilającej – l mb

$$\Delta U = \frac{100 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot s \cdot U^2}$$

7.5 Obliczanie wymaganej rezystancji uziemienia stacji transformatorowej.

7.5.1 Obliczenia dla zasilania ze stacji EC Tychy.

W związku z tym, że stacja EC Tychy pracuje w układzie dekompensacji, z możliwością pracy przy zamkniętym sprzęgle pomiędzy systemem 2A a systemem 2B do obliczeń przyjęto sumę obydwu pełnych prądów pojemnościowych:

$$I_E = 117,73 + 154,65 = 272,38A$$

Wspólna instalacja uziemienia ochronnego SN i punktu neutralnego sieci nN (TN).

Żyły powrotne kabli zasilających stację transformatorową należy przyłączyć do uziomu stacji.

Rezystancja uziemienia stacji transformatorowej po stronie średniego napięcia w oparciu o normę PN-E-05115 powinna wynosić

$$U_E < 4 \cdot U_{Tp}(t_F)$$

$$U_{Tp}(5s) = 81V$$

$$U_E < 4 \cdot 81 = 324V$$

$$I_E = 272,38A$$

Rezystancja uziemienia wynosi:

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} = \frac{324}{272,38} = 1,189\Omega$$

Po stronie niskiego napięcia w oparciu o normę N SEP-E-0001 należy spełnić następujące warunki:

Warunek I

$$R_{B1} < 5\Omega$$

gdzie:

R_{B1} - wypadkowa rezystancji tych uziemień, których rezystancja nie przekracza 30Ω (każdego uziemienia) znajdujących się wraz z uziemionym przewodem na obszarze koła o średnicy 200m zakreślonego dookoła stacji.

Warunek II

$$R_{B2} \leq R_E \cdot \frac{50}{U_0 - 50}$$

gdzie:

R_{B2} - wypadkowa rezystancja wszystkich uziemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych i linii tworzących sieć elektroenergetyczną, w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE),

50 – najwyższe dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe, w V,

U_0 – napięcie znamionowe sieci względem ziemi (wartość skuteczna), w V,

R_E – minimalna rezystancja między przewodem fazowym i ziemią odniesienia w miejscu zwarcia, w Ω ; jeżeli ustalenie wartości R_E jest trudne, można przyjąć $R_E=10\Omega$, co daje

$$R_{B2} \leq 10 \cdot \frac{50}{230 - 50} = 2,78\Omega$$

Warunek III

Punkt neutralny sieci el. – en. nN i połączone z nim przewody PEN (PE) tej samej sieci mogą być połączone z uziemieniem urządzeń wysokiego napięcia, jeżeli napięcie uziomowe U_E uziomu o wypadkowej rezystancji R_{B2} występujące przy zwarciu w sieci wysokiego napięcia nie wywoła w sieci nN zagrożenia porażeniowego. Zagrożenie nie wystąpi, jeżeli R_{B2} spełni warunek:

$$R_{B2} \leq \frac{U_F}{I_E} = \frac{68}{272,38} = 0,25\Omega$$

W celu optymalnego występowania potencjału na powierzchni gruntu i ograniczenia ewentualnych napięć dotykowych, do projektowanego uziomu stacji SN/nN przyłączyć żyły powrotne kabli SN oraz punkt neutralny (PEN) sieci nN i należy sprawdzić pomiarowo czy zachowany jest, podany wcześniej warunek:

$$R_{B2} \leq 0,25\Omega$$

7.5.2 Obliczenia dla zasilania ze stacji GPZ Łędziny.

Stacja GPZ Łędziny pracuje z izolowanym punktem gwiazdowym transformatora, w związku z czym do obliczeń przyjęto pełny prąd pojemnościowy:

$$I_E = 88,92A$$

Wspólna instalacja uziemienia ochronnego SN i punktu neutralnego sieci nN (TN).

Żyły powrotne kabli zasilających stację transformatorową należy przyłączyć do uziomu stacji.

Rezystancja uziemienia stacji transformatorowej po stronie średniego napięcia w oparciu o normę PN-E-05115 powinna wynosić:

$$U_E < 4 \cdot U_{Tp}(t_F)$$

$$U_{Tp}(5s) = 81V$$

$$U_E < 4 \cdot 81 = 324V$$

$$I_E = 88,92A$$

Rezystancja uziemienia wynosi:

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} = \frac{324}{88,92} = 3,643\Omega$$

Po stronie niskiego napięcia w oparciu o normę N SEP-E-0001 należy spełnić następujące warunki:

Warunek I

$$R_{B1} < 5\Omega$$

gdzie:

R_{B1} - wypadkowa rezystancji tych uziemień, których rezystancja nie przekracza 30Ω (każdego uziemienia) znajdujących się wraz z uziemionym przewodem na obszarze koła o średnicy 200m zakreślonego dookoła stacji.

Warunek II

$$R_{B2} \leq R_E \cdot \frac{50}{U_0 - 50}$$

gdzie:

R_{B2} - wypadkowa rezystancja wszystkich uzemień punktów neutralnych i przewodów PEN (PE) linii napowietrznych i linii tworzących sieć elektroenergetyczną, w których możliwe jest zwarcie doziemne z pominięciem przewodów PEN (PE),

50 – najwyższe dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowe, w V,

U_0 – napięcie znamionowe sieci względem ziemi (wartość skuteczna), w V,

R_E – minimalna rezystancja między przewodem fazowym i ziemią odniesienia w miejscu zwarcia, w Ω ; jeżeli ustalenie wartości R_E jest trudne, można przyjąć $R_E=10\Omega$, co daje

$$R_{B2} \leq 10 \cdot \frac{50}{230 - 50} = 2,78\Omega$$

Warunek III

Punkt neutralny sieci el. – en. nN i połączone z nim przewody PEN (PE) tej samej sieci mogą być połączone z uzziemieniem urządzeń wysokiego napięcia, jeżeli napięcie uziomowe U_E uziomu o wypadkowej rezystancji R_{B2} występujące przy zwarcu w sieci wysokiego napięcia nie wywoła w sieci nN zagrożenia porażeniowego. Zagrożenie nie wystąpi, jeżeli R_{B2} spełni warunek:

$$R_{B2} \leq \frac{U_F}{I_E} = \frac{68}{88,92} = 0,76\Omega$$

W celu optymalnego wysterowania potencjału na powierzchni gruntu i ograniczenia ewentualnych napięć dotykowych, do projektowanego uziomu stacji SN/nN przyłączyć żyły powrotne kabli SN oraz punkt neutralny (PEN) sieci nN i należy sprawdzić pomiarowo czy zachowany jest, podany wcześniej warunek:

$$R_{B2} \leq 0,76\Omega$$

7.6 Obliczanie projektowanego uzziemienia.

Obliczenia projektowanego uzziemienia stacji transformatorowej oraz stanowisk słupowych SN.

Dane:

- uziom otokowy stacji – bednarka stalowa – ocynkowana Fe/ZN 40x5mm² ułożona na głębokości 0,5m – 36 mb;
- uziom poziomy – bednarka stalowa – ocynkowana Fe/ZN 30x4mm² ułożona na dbnie wykopu kablowego i w gruncie rodzimym na głębokości ok. 0,8m – 65 mb;
- uziom pionowy – szpilki pomiedziowane o długości 6,0m i średnicy $\Phi 17,2\text{mm}$ – 12 szt;
- uziom stacji transformatorowej S777 Wola Piast – $R_{ES77} = 2,7\Omega$ (projektowany w ramach odrębnego opracowania);
- istniejący uziom budynku rozdzielni RG i komór transformatorowych – $R_{Eistn} = 5\Omega$.

Obliczenia dla uziomu otokowego stacji:

$$R_{EST} = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot D} \cdot \ln \frac{2\pi D}{d} = \frac{250}{3,14^2 \cdot \frac{36}{3,14}} \cdot \ln \frac{2\pi \cdot \frac{36}{3,14}}{0,02} = 18,11\Omega$$

gdzie:

L – długość uziomu poziomego w [m];

$D = \frac{L}{\pi}$ - średnica uziomu otokowego w [m];

d – średnica uziomu wykonanego z liny lub połowa szerokości uziomu wykonanego z taśmy w [m];

ρ – rezystywność gruntu w [Ωm];

Obliczenia dla uziomu poziomego:

$$R_{EB} = \frac{\rho_E}{\pi L} \cdot \ln \frac{2L}{d} = \frac{250}{3,14 \cdot 65} \cdot \ln \frac{65}{0,015} = 11,11\Omega$$

gdzie:

L – długość uziomu poziomego w [m];

d – średnica uziomu wykonanego z liny lub połowa szerokości uziomu wykonanego z taśmy w [m];

ρ – rezystywność gruntu w [Ωm];

Obliczenia dla uziomu pionowego $l=6,0\text{m}$:

$$R_{EP} = \frac{\rho_E}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4L}{d} = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \cdot \ln \frac{4 \cdot 6}{0,0172} = 48,04\Omega$$

gdzie:

L – długość uziomu pionowego w [m]

d – średnica uziomu w [m]

ρ – rezystywność gruntu w [Ωm]

Obliczona wypadkowa rezystancja uziemienia wynosi:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_{EST}} + \frac{1}{R_{EB}} + \left(12 \cdot \frac{1}{R_{EP}}\right) + \frac{1}{R_{ES777}} + \frac{1}{R_{Eistn}} = 0,965$$
$$R_E = 1,036\Omega$$

Uziom projektowanej stacji transformatorowej SY58 Wola NSE wynosi $2,531\Omega$ po połączeniu istniejącego uziemienia budynku rozdzielni RG-500, RG-380/220 i komór transformatorowych oraz żył powrotnych linii kablowych SN zasilających ze stacji S777 wartość uziemienia wynosi $1,036\Omega$.

Wypadkowa rezystancja projektowanego uziemienia R_{B1} znajdujących się na obszarze koła o średnicy 200m zakreślonych dookoła stacji powinna spełniać warunek $R_{B1} < 5\Omega$ - warunek spełniony uziemienie stacji $< 2,531\Omega$.

Wypadkowa rezystancja projektowanego uziemienia R_{B2} powinna spełniać warunek $R_{B2} < 2,78\Omega$ - warunek spełniony uziemienie stacji $< 2,531\Omega$.

Wypadkowa rezystancja projektowanego uziemienia R_{B2} ze względu na optymalne występowanie potencjału na powierzchni gruntu i ograniczenia ewentualnych napięć dotykowych powinna spełniać warunek $R_{B2} < 0,25\Omega$ - sprawdzić pomiarowo po wykonaniu wszystkich linii kablowych po stronie nN i budowie stacji S777 Wola Piast.

Po wykonaniu całości prac należy wykonać pomiary instalacji uziomowej. Jeżeli po wykonaniu wszystkich prac związanych z budową stacji zmierzona wartość uziemienia będzie większa od wymaganej $0,25\Omega$, to należy zgłosić fakt do projektanta oraz Inwestora w celu podjęcia decyzji o konieczności rozbudowy układu uziomowego bądź rozdzieleniu uziemienia ochronnego stacji i uziemienia punktu neutralnego sieci nN. Do rozbudowy układu uziomowego wykorzystać bednarkę 30x4 oraz pomiedziowane pręty uziomowe.