

Wpływ nagrzania żył roboczych górniczych kabli i przewodów oponowych na czułość nadprądowych zabezpieczeń zwarciovych w sieciach kopalnianych

Streszczenie. W referacie opisano wpływ przebiegu nagrzewania żył roboczych kabli lub przewodów oponowych prądem zwarciovym na wartość minimalnego prądu zwarciovego, a w konsekwencji na czułość nadprądowego zabezpieczenia zwarciovego. Opisano w sposób skrótowy zalecenia normalizacyjne z tego zakresu. Zwrócono uwagę na różnice między PN-G-42042:1998 oraz PN-EN 60909-0:2002 (U). Przedstawiono prosty przykład obliczeniowy ilustrujący te różnice. Zaproponowano uproszczone uwzględnienie nagrzewania przy obliczaniu mocy zwarciovowej.

Abstract. The paper describes the impact of the cable conductor wires heating because of the short circuit current on the value of the minimum short-circuit current, and consequently on the sensitivity of the over-current fault protection. There have been described standard recommendations in this field. There have been highlighted the main differences between the national standard PN-G-42042: 1998 and European standard PN EN 60909-0:2002 (U). These differences have been illustrated by a simple calculation example. Heating impact should be taken into consideration (at least in the simplified manner) when calculating the short circuit power. (Impact of the mining cable conductor wires heating on the sensitivity of the over-current fault protection in mining power networks).

Słowa kluczowe: zwarcie międzyfazowe, prąd zwarciovym minimalny, nagrzewanie, zabezpieczenie zwarciove nadprądowe, czułość zabezpieczeń zwarciovych.

Keywords: line-to-line short circuit, minimum short-circuit current, heating, over-current short-circuit protection relay, sensitivity of short-circuit protection.

doi:10.12915/pe.2014.09.41

Wstęp

Poprawne funkcjonowanie nadprądowych zabezpieczeń zwarciovych jest jednym z podstawowych warunków bezpiecznej eksploatacji sieci elektroenergetycznych. W warunkach podziemi kopalń jest to szczególnie istotne z uwagi na występujące tam zagrożenie pożarowe i wybuchowe. Prawidłowe funkcjonowanie zabezpieczenia zwarciovego uzależnione jest w dużym stopniu od jego poprawnej nastawy, uwarunkowanej wyznaczeniem wartości minimalnego prądu zwarciovego jaki może pojawić się w zabezpieczanej strefie. Obliczanie prądów zwarciovych z uwagi na skomplikowany charakter zjawisk towarzyszących zwarciu dokonywane jest w sposób uproszczony, oparty na zaleceniach normatywnych [4] – będących kompromisem między prostotą obliczeń, a ich dokładnością. Ogólną normą opisującą obliczanie prądów zwarciovych zarówno maksymalnych, jak i minimalnych w trójfazowych sieciach prądu przemiennego jest norma [5]. W przypadku sieci górniczych obowiązuje norma [6]. Między tymi normami zachodzą jednak pewne różnice w kwestii wyznaczania rezystancji zastępczych linii kablowych znajdujących się na drodze przepływu prądu zwarciovego. Według [6] do obliczania prądów zwarciovych minimalnych wpływ nagrzania przewodu prądem roboczym uwzględniony jest jedynie dla zabezpieczanej strefy, czyli dla elementów między miejscem zainstalowania zabezpieczenia, a obliczeniowym miejscem zwarcia. Natomiast według [5] impedancja obwodu zwarciovego powinna zostać wyznaczona z uwzględnieniem nagrzania wszystkich żył roboczych linii przesyłowych w chwili wyłączenia zwarcia (czyli z uwzględnieniem nie tylko wstępnego nagrzania żył prądem roboczym, ale również przepływem prądu zwarciovego). W niniejszym artykule przedstawiono próbę porównania tych wymagań i analizę ich wpływu na wartości minimalnych prądów zwarciovych na podstawie prostego przykładu obliczeniowego.

W podziemiach kopalń w zależności od stopnia niebezpieczeństwa wybuchu metanu w danym pomieszczeniu stosuje się odpowiednie wartości współczynnika czułości zabezpieczeń zwarciovych podane w [6].

Nagrzewanie żył roboczych górniczych kabli i przewodów oponowych przy przepływie prądów roboczych i prądów zwarciovych

Zagadnienie nagrzewania żył roboczych kabli i przewodów oponowych przepływem prądów roboczych staje się szczególnie istotne w przypadku stosowania materiałów izolacyjnych o zwiększonej ciepłoodporności – gdyż dopuszczalne długotrwałe temperatury żył sięgają wówczas 90°C, co może prowadzić do istotnego zwiększenia rezystancji tych żył w stopniu wyższym, niż w przypadku stosowania innych materiałów izolacyjnych o niższych wartościach temperatur dopuszczalnych długotrwałe [7]. Wzrost mocy zwarciovowej (umożliwiony przy zastosowaniu nowoczesnej aparatury łączeniowej o większej wytrzymałości zwarciovowej) prowadzi do zwiększenia wartości prądów zwarciovych (zarówno maksymalnych, jak i minimalnych), czyli do zwiększonego wydzielania ciepła na całej drodze przepływu prądu zwarciovego. Uwzględnienie nagrzania żył roboczych prądem roboczym (I_o) w sytuacji, gdy $I_o < I_{dd}$ można wyznaczyć wg zależności:

$$(1) \quad \Delta g(I_o) = \Delta g(I_{dd}) \cdot \left(\frac{I_o}{I_{dd}} \right)^2$$

gdzie: I_{dd} - oznacza obciążalność długotrwałą.

W odniesieniu do zabezpieczanego odcinka linii zasilającej w sieciach kopalnianych podaje się, że wpływ wartości temperatury żył roboczych na wartość prądów zwarciovych minimalnych niezbędnych do doboru nastaw zabezpieczeń zwarciovych wskazuje na możliwość zastąpienia temperatury w chwili wyłączenia zwarcia, temperaturą dopuszczalną długotrwałe g_{dd} [2] [3]. Wówczas wystarczy przyjąć ustalony przyrost temperatury odpowiadający obciążalności długotrwałej kabla lub przewodu oponowego.

Natomiast uwzględnienie nagrzewania żył roboczych przepływem prądu zwarciovego dla wszystkich odcinków linii kablowych (łącznie ze strefą zabezpieczaną) jest

zagadnieniem znacznie trudniejszym, gdyż jest to proces o dużej dynamice (przyjmuje się, że ma on charakter adiabatyczny, czyli pomija się oddawanie ciepła do otoczenia), stąd też jego efekty w bardzo dużym stopniu zależą od czasu zwarcia T_k . Ponieważ w końcowych odcinkach sieci zasilającej silniki stosuje się zabezpieczenia bezzwłoczne, zakres rozważań ograniczono do sieci rozdzielczej SN i linii zasilających stacje transformatorowe, gdzie najdłuższa dopuszczalna zwłoka czasowa może zgodnie z [6] osiągać wartości z zakresu 0,6...1,6 s. W przypadku nagrzewania żył roboczych prądem zwarciovym wzrost rezystancji mógłby powodować wzrost strat mocy i szybsze nagrzewanie przy stałej wartości prądu. Z drugiej strony wzrost rezystancji żył roboczych wskutek nagrzewania prądem zwarciovym powoduje zmniejszenie wartości prądu zwarciovego. Są to więc dwa przebiegające równocześnie procesy o przeciwstawnych skutkach. Złożoną dynamikę nagrzewania żyły roboczej prądem zwarciovym można wyrazić uproszczonym układem dwóch równań opisujących kolejno

- straty mocy $\Delta P(\vartheta)$ w określonej temperaturze ϑ

$$(2) \quad \Delta P(\vartheta) = I_k^2(\vartheta) R(\vartheta)$$

- zmianę temperatury elementu

$$(3) \quad C_k \frac{d\vartheta}{dt} = \Delta P(\vartheta)$$

gdzie: C_k oznacza pojemność cieplną danego odcinka kabla lub przewodu równą iloczynowi jego masy oraz ciepła właściwego (masę można wyznaczyć jako iloczyn przekroju, długości oraz gęstości materiału przewodowego – miedzi).

Zależności te muszą być uzupełnione o równanie opisujące zmianę rezystancji związaną ze zmianą temperatury:

$$(4) \quad R(\vartheta) = R_{20} [1 + 0,004 \cdot (\vartheta - 20)]$$

oraz równanie opisujące wartość skuteczną prądu przy zwarciu dwufazowym

$$(5) \quad I_k = \frac{c_{\min} \cdot U_n}{2\sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}$$

gdzie: R_{Σ} , X_{Σ} oznaczają wartości sumarycznej rezystancji i reaktancji obwodu zwarciovego wyznaczone z ewentualnym uwzględnieniem nagrzania wszystkich [5] lub tylko wybranych [6] elementów, $c_{\min}$ – wartość współczynnika napięciowego zgodnie z [5] lub [6], U_n – napięcie znamionowe sieci.

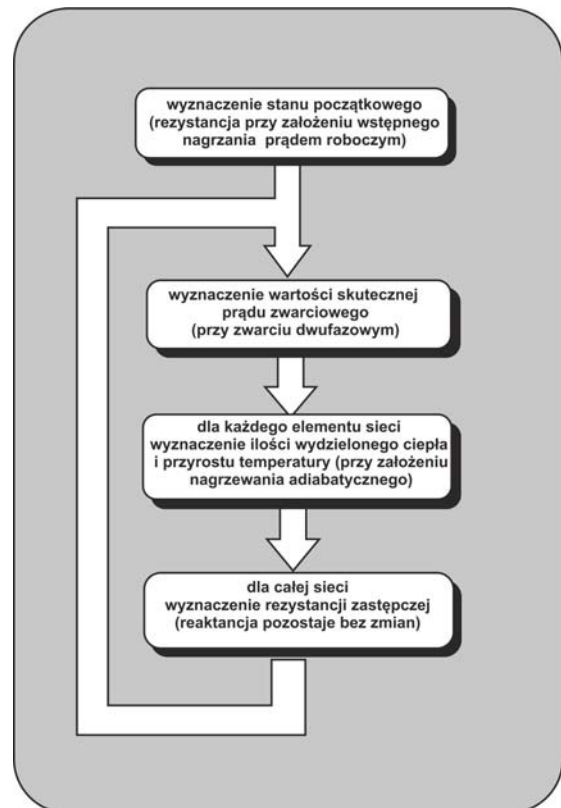
Sposób obliczania wartości prądu zwarciovego minimalnego dla przypadku uwzględnienia nagrzewania żył roboczych linii kablowych każdego elementu sieci wiodącego prąd zwarciovym w oparciu o zależności (1)-(5) przedstawiono graficznie na rysunku 1.

Przykład obliczeniowy - założenia

W celu przeanalizowania wpływu różnych metod obliczeniowych i przyjmowanych w nich założeń uproszczających przeprowadzono obliczenia dla przykładowego fragmentu sieci kopalnianej SN obejmującego następujące elementy:

- główną rozdzielnicę kopalnianą GRK ($S_k'' = 178$ MVA, $R/X=0,05$),

- wiązkę kabli sztywnych KSz (3xYUHKGXSFoyn 3,6/6kV 3x240/35 mm², 1,5 km),
- rozdzielnicę poziomą RPOz,
- linię kablową KP zasilającą rozdzielnicę pośrednią RP (YHKGXSFTyn 3,6/6kV 3x120/35 mm², 2 km),
- rozdzielnicę pośrednią RP,
- linię kablową KO zasilającą rozdzielnicę oddziałową RO (YHKGXSFTyn 3,6/6kV 3x95/25 mm², 1 km),
- rozdzielnicę oddziałową RO,
- linię kablową KT zasilającą stację transformatorową T (YHKGXSFTyn 3,6/6kV 3x35/16 mm², $L=0,25...2$ km),
- stację transformatorową T (6 kV/1,05 kV; $S_{rT}=630$ kVA; $u_{kr}=4\%$; $u_{Rr}=0,6\%$),

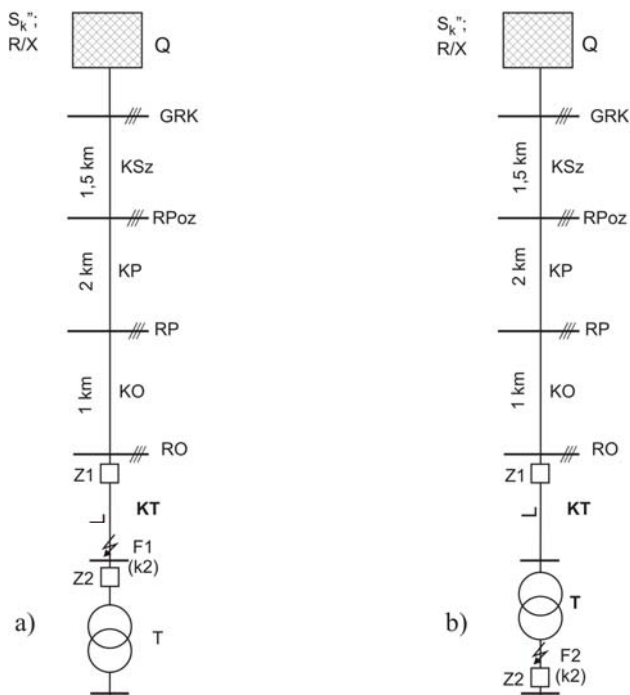


Rys.1. Przebieg obliczeń prądu zwarciovego przy uwzględnieniu dynamiki nagrzewania poszczególnych elementów sieci (żył roboczych linii kablowych i uzwojeń transformatorów)

W przeprowadzonych rozważaniach skoncentrowano się na ostatnim odcinku sieci czyli zabezpieczeniu zainstalowanym w rozdzielnicy oddziałowej RO i przeanalizowano dwa warianty, zależne od konstrukcji zastosowanej stacji transformatorowej (miejsca zastosowania zabezpieczenia zwarciovego – po stronie SN lub po stronie nn, co wpływa na długość zabezpieczanej strefy i wybór obliczeniowego miejsca zwarcia). Schemat rozważanej sieci przedstawiono na rysunku 2, a odpowiadające mu schematy zastępcze do obliczania prądu zwarciovego minimalnego niezbędne do sprawdzenia czułości zabezpieczeń zwarciovych sieci kopalnianej przedstawiono na rysunku 3.

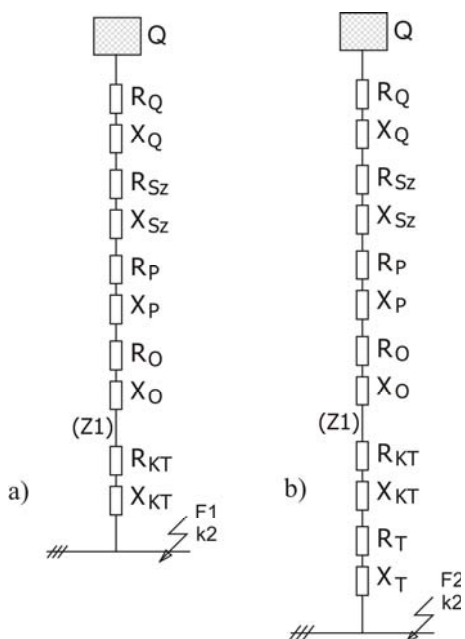
Parametry kabli górniczych przyjęto zgodnie z [1]. Obliczenia przeprowadzono w programie Matlab. Jako krok całkowania przyjęto okres 20 ms (minimalna wartość czasu, dla której możliwe jest wyznaczenie wartości skutecznej prądu). Normy [5] i [6] zalecają różne wartości współczynnika napięciowego $c_{\min}$, więc obliczenia

proawdzono bez uwzględnienia jego wartości – aby umożliwić porównanie uzyskanych wyników. Jako prąd obciążenia chronionego odcinka sieci przyjęto wartość obciążalności długotrwałej kabla K_T .



Rys.2. Schemat fragmentu sieci kopalnianej wykorzystanego w przykładzie obliczeniowym

a) obliczeniowe miejsce zwarcia F1 po stronie GN transformatora T
b) obliczeniowe miejsce zwarcia F2 po stronie DN transformatora T

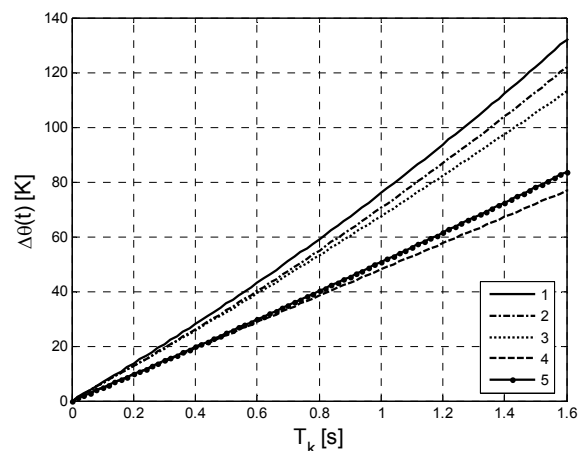


Rys.3. Schematy zastępcze do obliczania prądów zwarciovych minimalnych niezbędnych do sprawdzenia czułości zabezpieczenia zwarciovego Z1

Wyniki obliczeń dla strefy zabezpieczanej nie obejmującej stacji transformatorowej

Wyniki obliczeń numerycznych przeprowadzonych dla sieci jak na rysunku 2a zostały przedstawione graficznie na rysunkach 4. i 5. Jak widać na rysunku 4. w przypadku obliczania prądów zwarciovych minimalnych do

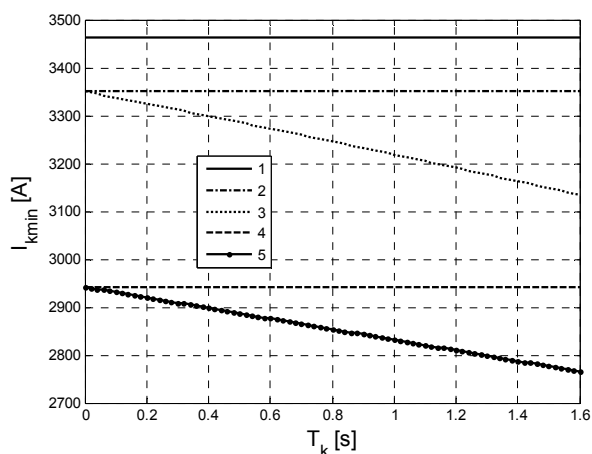
sprawdzenia czułości zabezpieczenia zwarciovego Z1 przyjęta metodyka obliczeń ma wyraźny wpływ na wyznaczenie przyrostu temperatury, a w konsekwencji na wartość obliczeniowego prądu zwarciovego. W przypadku, gdy strefa zabezpieczana kończy się na zaciskach strony GN transformatora przebiegi przyrostu temperatury aproksymowane są liniami prostymi o wyraźnie różniących się nachyleniach. Jak pokazują wyniki z rysunku 5. z punktu widzenia celu prowadzonych obliczeń zwarciovych metoda obliczeniowa ma istotny wpływ na wyznaczenie minimalnego prądu zwarciovego. Przyjmując, jako wartość odniesienia, prąd zwarciov obliczony bez uwzględnienia podgrzania żył roboczych linii kablowych (1 z rysunków 4,5,6) można ocenić ilościowo wartości prądów liczonych pozostałymi metodami. Przyjmując czas trwania zwarcia dla linii zasilającej transformator równy 0,5 s można stwierdzić, że uwzględnienie wstępnego nagrzania odcinka chronionego (2 z rysunków 2,3,4) zmniejsza wartość prądu o prawie 3%, natomiast uwzględnienie wstępnego nagrzania całej linii (od GRK do T) zmniejsza prąd zwarciov już o ponad 15% co wskazuje na słusność prowadzenia obliczeń według metody (4 z rysunków 4,5,6). Dalsze zmniejszenie prądu zwarciovego następuje na skutek adiabatycznego nagrzewania prądem zwarciovym żył roboczych linii (od GRK do T). Jeżeli zostanie uwzględnione adiabatyczne nagrzewanie tylko ostatniego odcinka to prowadzi to będzie do obniżenia wartości prądu zwarciovego o dalsze 2%. Natomiast uwzględnienie nagrzewania wszystkich odcinków linii (od GRK do T) powoduje największe obniżenie wartości prądu zwarciovego o 16,5% w stosunku do wartości odniesienia.



Rys.4. Zależność wartości przyrostu temperatury żyły roboczej kabla KT od czasu trwania zwarcia i przyjętych uproszczeń (metody obliczeniowej)

- 1 - pominięcie zmian rezystancji żył roboczych,
- 2 - nagrzanie ostatniego odcinka linii prądem roboczym,
- 3 - nagrzanie ostatniego odcinka linii prądem zwarciovym,
- 4 - nagrzanie wszystkich odcinków linii prądem roboczym,
- 5 - nagrzanie wszystkich odcinków linii prądem zwarciovym

Aby ocenić wpływ nagrzewania w zależności od długości chronionego odcinka linii przeprowadzono obliczenia dla kilku wartości tej długości L z zakresu od 0,25 do 2 km. Wyniki obliczeń (dla czasu trwania zwarcia 0,5 s) stabelaryzowano (tabela 1) oraz przedstawiono graficznie na rysunku 6.

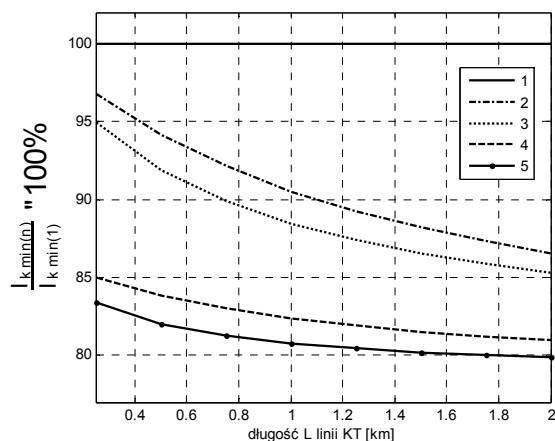


Rys.5. Zależność wartości minimalnego prądu zwarcowego w przypadku obliczeniowego miejsca zwarcia po stronie GN stacji transformatorowej T od czasu trwania zwarcia i przyjętych uproszczeń (metody obliczeniowej) wyznaczona dla długości L chronionego odcinka linii równej 250 m

- 1 - pominięcie zmian rezystancji żył roboczych,
- 2 - nagrzanie ostatniego odcinka linii prądem roboczym,
- 3 - nagrzewanie ostatniego odcinka linii prądem zwarcowym,
- 4 - nagrzanie wszystkich odcinków linii prądem roboczym,
- 5 - nagrzewanie wszystkich odcinków linii prądem zwarcowym

Tabela 1. Zależność zmian temperatury i wartości prądu zwarcowego od długości linii kablowej KT dla różnych metod obliczeniowych w przypadku sieci z rysunku 2 a

Lp.	L_{K1}	I_{kmin} [A]					$\Delta\theta$ [K]				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1.	0,25	3462	3350	3286	2942	2887	36,9	34,6	33,7	24,9	25,7
2.	0,50	3039	2862	2792	2547	2493	28,0	24,8	24,1	18,7	19,0
3.	0,75	2700	2488	2427	2241	2194	21,9	18,6	18,0	14,5	14,6
4.	1,00	2426	2196	2146	1998	1959	17,5	14,4	13,9	11,5	11,5
5.	1,25	2199	1963	1922	1801	1769	14,3	11,4	11,1	9,3	9,3
6.	1,50	2010	1773	1740	1638	1612	11,9	9,3	9,0	7,7	7,7
7.	1,75	1850	1616	1589	1502	1481	10,1	7,7	7,5	6,5	6,5
8.	2,00	1713	1483	1461	1387	1369	8,6	6,4	6,3	5,5	5,5

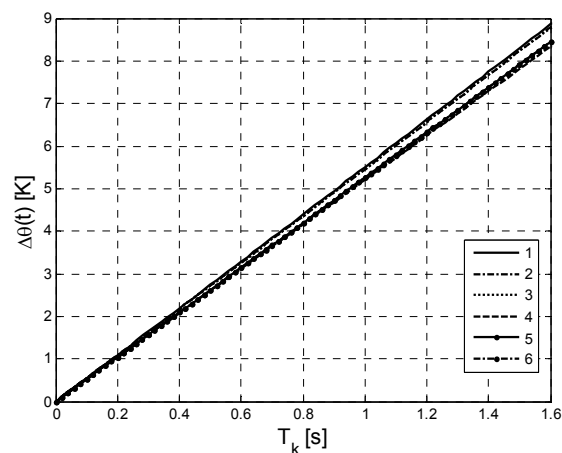


Rys. 6. Wpływ długości L zabezpieczanego odcinka linii KT na względną wartość minimalnego prądu zwarcowego w sieci kopalnianej z rysunku 2a ($n=1,2,3,4,5$)

Wyniki obliczeń dla strefy zabezpieczanej obejmującej stację transformatorową

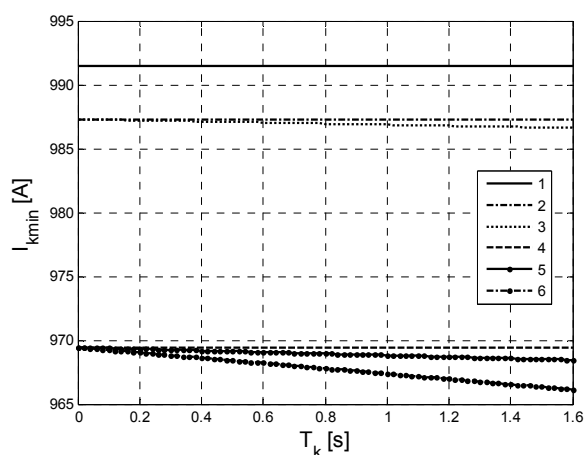
Wyniki obliczeń numerycznych przeprowadzonych dla sieci jak na rysunku 2b zostały przedstawione graficznie na rysunkach 7. i 8. Jak widać na rysunku 7. w przypadku obliczania prądów zwarcowych minimalnych do sprawdzenia czułości zabezpieczenia zwarcowego Z1

przyjęta metodyka obliczeń ma mniej wyraźny wpływ na wyznaczenie przyrostu temperatury, a w konsekwencji na wartość obliczeniowego prądu zwarcowego niż w przypadku wyników prezentowanych na rysunku 5. W sytuacji, gdy strefa zabezpieczana kończy się na zaciskach strony DN transformatora przebiegi przyrostu temperatury aproksymowane są liniami prostymi o zbliżonych nachyleniach. Jak pokazują wyniki z rysunku 8. z punktu widzenia celu prowadzonych obliczeń zwarcowych wybór metody obliczeniowej nie wpływa znacząco na wynik końcowy. Związane to jest z faktem, że duży wpływ na wartość obliczeniowego prądu zwarcowego ma impedancja (a właściwie reaktancja) uzwojeń transformatora.



Rys. 7. Zależność wartości przyrostu temperatury żyły roboczej kabla KT od czasu trwania zwarcia i przyjętych uproszczeń (metody obliczeniowej)

- 1 - pominięcie zmian rezystancji żył roboczych,
- 2 - nagrzanie ostatniego odcinka linii prądem roboczym,
- 3 - nagrzewanie ostatniego odcinka linii prądem zwarcowym,
- 4 - nagrzanie wszystkich odcinków linii prądem roboczym,
- 5 - nagrzewanie wszystkich odcinków linii prądem zwarcowym
- 6 - nagrzewanie wszystkich odcinków linii oraz uzwojeń transformatora prądem zwarcowym



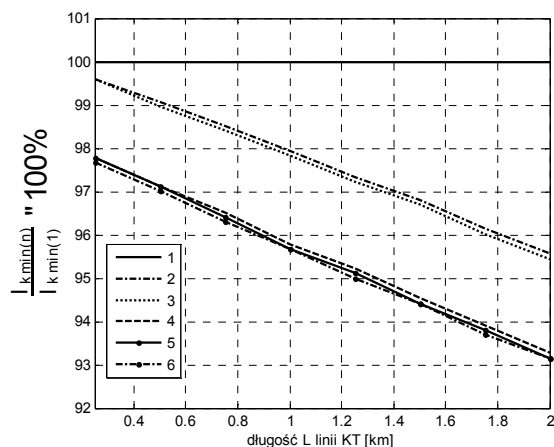
Rys. 8. Zależność wartości minimalnego prądu zwarcowego przy zwarcu po stronie DN stacji transformatorowej ST od czasu trwania zwarcia i przyjętych uproszczeń (metody obliczeniowej)

- 1 - pominięcie zmian rezystancji żył roboczych,
- 2 - nagrzanie ostatniego odcinka linii prądem roboczym,
- 3 - nagrzewanie ostatniego odcinka linii prądem zwarcowym,
- 4 - nagrzanie wszystkich odcinków linii prądem roboczym,
- 5 - nagrzewanie wszystkich odcinków linii prądem zwarcowym,
- 6 - nagrzewanie wszystkich odcinków linii oraz uzwojeń transformatora, prądem zwarcowym.

Podobnie jak w przypadku sieci z rysunku 2a do oceny wpływu nagrzewania w zależności od długości chronionego odcinka linii przeprowadzono obliczenia dla kilku wartości tej długości L z zakresu od 0,25 do 2 km. Wyniki obliczeń (dla czasu trwania zwarcia 0,5 s) zestawiono w tabeli 2 i przedstawiono na rysunku 9.

Tabela 2. Zależność zmian temperatury i wartości prądu zwarciovego od długości linii kablowej KT dla różnych metod obliczeniowych w przypadku sieci z rysunku 2 b.

L.p.	L_{K1}	I_{kmin}						$\Delta\theta$ [K]					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	0,25	991	987	987	969	969	968	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7
2	0,50	969	960	959	941	941	940	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6
3	0,75	946	932	931	913	912	911	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4
4	1,00	923	904	903	884	883	883	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
5	1,25	900	876	875	857	856	855	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1
6	1,50	877	849	848	829	828	828	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
7	1,75	855	822	821	803	802	801	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9
8	2,00	833	796	795	777	776	776	2,0	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7



Rys. 9. Wpływ długości L zabezpieczanego odcinka linii KT na względną wartość minimalnego prądu zwarciovego w sieci kopalnianej z rysunku 2.b, ($n=1,2,3,4,5,6$)

Wnioski

Z analizy wyników obliczeń, które zamieszczono w dwóch poprzednich punktach można wyprowadzić następujące wnioski:

- pominięcie zjawiska nagrzewania żył roboczych powoduje nieuzasadnione zawyżenie wartości minimalnego prądu zwarciovego prowadzące do praktycznego zmniejszenia czułości zabezpieczenia,

- norma [5] zaleca dokładniejsze wyznaczenie wartości minimalnych prądów zwarciovych niż norma [6],

- uwzględnienie nagrzewania całego toru prądowego prądem roboczym jest (dla stosunkowo krótkich czasów zwarcia wymaganych normą [6]) znacznie ważniejsze niż uwzględnienie adyabatycznego nagrzewania jednego lub więcej elementów prądem zwarciovym,

- słuszne wydaje się wyznaczenie – do celów sprawdzania czułości zabezpieczeń – minimalnej mocy zwarciovowej na szynach poszczególnych rozdzielnic z uwzględnieniem nagrzania wszystkich kabli i przewodów (poczynając od kabli szybowych) do temperatury odpowiadającej ich obciążalności długotrwałej,

- przy stosowaniu metod komputerowych stosunkowo proste byłoby wyznaczanie dynamicznego nagrzewania całego toru prądowego, aż do chwili wyłączenia zwarcia.

Zawarte w artykule rozważania są szczególnie istotne w przypadku, gdy strefa zabezpieczana nie obejmuje uzwojeń transformatora. Jeżeli obliczeniowe miejsce zwarcia znajduje się po stronie DN transformatora to stosunkowo duża i niezmienna (wraz z temperaturą) reaktancja transformatora redukuje opisywany powyżej wpływ procesu nagrzewania na wartość prądu zwarciovego.

LITERATURA

- [1] Boron W., Linie kablowe w podziemnych zakładach górniczych, Wyd. CEIAG EMAG, Katowice (2006)
- [2] Gawor P., Sieci elektroenergetyczne zakładów górniczych, Wyd. Pol. Śl., Gliwice (2011)
- [3] Gawor P., Wpływ nagrzewania się żył kabli górniczych na współczynnik czułości zabezpieczeń zwarciovych, *ZN Pol. Śl. Górnictwo* z. 260, Wyd. Pol. Śl., Gliwice (2004), 337-347
- [4] Kacejko P., Machowski J., Zwarcia w systemach elektroenergetycznych, WNT, Warszawa (2013)
- [5] PN-EN 60909-0:2002 (U) Prądy zwarciovowe w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 0: Obliczanie prądów
- [6] PN-G-42042:1998 Środki ochronne i zabezpieczające w elektroenergetyce kopalnianej - Zabezpieczenia zwarciovowe i przeciążeniowe - Wymagania i zasady doboru
- [7] PN-G-42060:1997 Elektroenergetyka kopalniana - Obciążalność przewodów oponowych i kabli stosowanych w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych

Autorzy: dr inż. Adam Heyduk, Politechnika Śląska, Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa, ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, E-mail: adam.heyduk@polsl.pl;

dr inż. Jarosław Joostberens, Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa, ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, E-mail: jaroslaw.joostberens@polsl.pl.