



Stanisław Wojtas\*, Henryk Boryń\*

## WPŁYW PRĄDÓW INDUKOWANYCH W ŻYŁACH POWROTNYCH NA NAGRZEWANIE IZOLACJI POLIETYLENOWEJ KABLI

**Streszczenie:** Przedstawiono wyniki badań wpływu prądów indukowanych w żyłach powrotnych przez prąd obciążenia żyły roboczej na temperaturę izolacji kabli energetycznych średniego napięcia. Stwierdzono, że największy spadek obciążalności kabla wskutek prądów indukowanych występuje w przypadku samotnych kabli 1-żyłowych lub kabli w układzie 3-fazowym, w którym poszczególne żyły są ułożone w znacznej odległości od siebie. Dla linii kablowych o żyłach ułożonych w trójkącie z pomijalnym odstępem, wpływ prądów indukowanych w żyłach powrotnych jest praktycznie niezauważalny.

**Słowa kluczowe:** kable, obciążalność kabli

### 1. Wstęp

Kable elektroenergetyczne o izolacji polimerowej są najczęściej produkowane jako jednożyłowe, o polu promieniowym, wyznaczonym przez półprzewodzącą warstwę na izolacji żyły roboczej i współosiowy ekran metalowy, stanowiący żyłę powrotną dla prądów zwarciovych. W uzasadnionych technicznie przypadkach na tak wykonanym kablu nakłada się dodatkowo, izolowany od żyły powrotnej, stalowy pancerz chroniący kabel przed uszkodzeniami mechanicznymi lub elastyczną powłokę metalową jako barierę przeciwwilgociową.

Jeżeli w żyły roboczej kabla jednożyłowego płynie przemienny prąd o natężeniu  $I$  i o pulsacji  $2\pi f$ , to wytworzone wokół żyły pole magnetyczne indukuje wzdłuż koncentrycznych powłok metalowych (a także wzdłuż równoległych żył i powłok sąsiednich kabli) siłę elektromotoryczną  $E$ , której wartość jest proporcjonalna do

---

\* Politechnika Gdańska, Katedra Wysokich Napięć, ul. Własna Strzecha 18a, 80-952 Gdańsk

natężenia prądu  $I$ , długości kabla  $l$  oraz indukcyjności wzajemnej  $M$ , zależnej od wymiarów rozpatrywanego układu przewodów i przenikalności magnetycznej środowiska, zgodnie z zależnością:

$$E = 2\pi f I l M \quad (1)$$

W linii trójfazowej, złożonej z trzech kabli jednożyłowych, napięcia indukowane w żyłach powrotnych i pancerzach są mniejsze, wskutek korzystnego współdziałania prądów w pozostałych żyłach roboczych. Łagodzenie napięć indukowanych w linii trójfazowej będzie tym większe, im bliżej siebie będą usytuowane fazy i przy ich symetrii geometrycznej i prądowej.

Dla porównania napięć indukowanych w różnych układach kablowych wartości  $E$  przelicza się na jednostkę długości kabla i prądu żyły roboczej. Typowe wartości dla warunków roboczych w liniach wysokich napięć według [1] wynoszą od 0,04 do 0,20 V/km A. Są to napięcia mierzone względem ziemi, na otwartym końcu żyły powrotnej lub płaszcza stalowego, przy jednostronnym ich uziemieniu.

W praktyce eksploatacyjnej występuje obustronne uziemienie żyły powrotnej, a więc pod wpływem napięcia indukowanego pojawia się w żyłce powrotnej prąd sięgający 60% wartości prądu w żyłce roboczej. Tak znaczne prądy powodują dodatkowe nagrzewanie izolacji kabli. Znane są przypadki linii, w których znaczne wartości prądów powłokowych występujące w warunkach pełnego obciążenia znamionowego uniemożliwiły prawidłową eksploatację sieci.

Celem przeprowadzonych badań było ustalenie wpływu prądów indukowanych w żyłce powrotnej na temperaturę izolacji kabli średniego napięcia o izolacji z polietylenu sieciowanego.

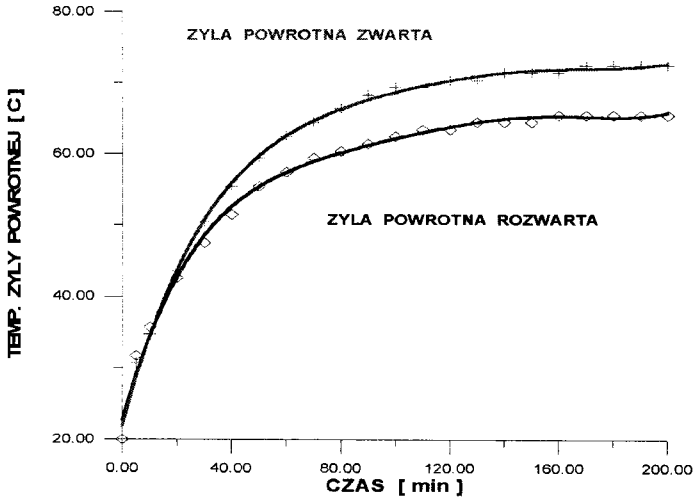
## 2. Program i metodyka badań

Badania wpływu prądów indukowanych na temperaturę izolacji przeprowadzono na dwóch typach kabli produkcji krajowej o izolacji z polietylenu sieciowanego na napięcie 20 kV. Jeden z kabli z żyłami miedzianymi miał przekrój  $1 \times 70/25 \text{ mm}^2$ , a drugi z żyłą roboczą aluminiową —  $1 \times 120/50 \text{ mm}^2$ . Odcinki kabli o długości 10 m w kształcie okręgów były umieszczone na wspornikach na wysokości 30 cm nad posadzką. Żyły robocze badanych kabli były zasilane z transformatorów prądowych i obciążane prądem o regulowanej wartości. Żyły powrotne kabli mogły być rozwarte lub zwarte dla zaindukowania w nich prądu. Podczas badań mierzono temperaturę izolacji na powierzchni żyły powrotnej przy pomocy termopar i rejestrowano automatycznie co 10 min. Próba obciążalności była kontynuowana aż do osiągnięcia stanu ustalonego temperatury izolacji. Jako kryterium stanu ustalonego temperatury przyjęto sytuację, w której jej przyrost nie przekracza  $1^\circ\text{C}$  w ciągu 1 godziny. Rys. 1 przedstawia przykładowe zmiany temperatury w funkcji czasu dla pojedynczego kabla  $1 \times 70/25 \text{ mm}^2$  obciążonego prądem 320 A przy rozwartej i zwartej żyłce powrotnej. Wskutek zwarcia w żyłce powrotnej indukował się prąd o wartości 130 A.

Wyniki przeprowadzonych wcześniej badań napięć i prądów indukowanych w żyłach powrotnych wskazują, że przy ułożeniu trzech kabli jednożyłowych w układ trójkątny występuje silne zmniejszenie mierzonych wartości. Ten efekt jest skutkiem skojarzenia strumieni magnetycznych poszczególnych faz linii kablowej. Wartość rejestrowanego w żyłce powrotnej prądu indukowanego jest ok. 4-krotnie mniejsza, niż dla linii 1-fazowej zbudowanej z tego samego typu kabla. Do badania temperatury izolacji w układzie trójfazowym zestawiono zespół zawierający trzy identyczne układy prądowe zasilane z sieci trójfazowej z uzgodnioną kolejnością faz.

Badania obu typów kabli wykonano w następujących konfiguracjach:

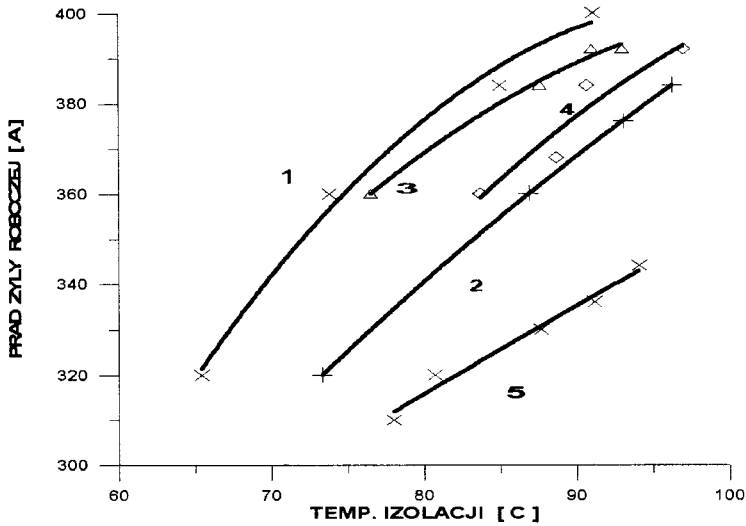
1. w układzie 1-fazowym,
2. w układzie 3-fazowym z żyłkami umieszczonymi w trójkącie bez odstępu,
3. w układzie 3-fazowym z żyłkami w układzie płaskim z odstępem równym średnicy zewnętrznej żyłki kabla.



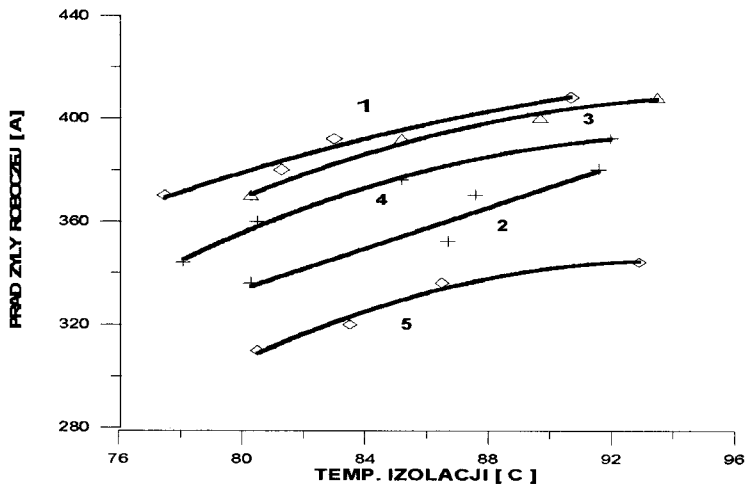
Rys. 1. Przebieg nagrzewania pojedynczego kabla YHKXS  $1 \times 70/25 \text{ mm}^2$  prądem o wartości 320 A w funkcji czasu

### 3. Omówienie wyników badań

Wyniki badań wpływu sposobu obciążenia kabla  $1 \times 70/25 \text{ mm}^2$  na temperaturę izolacji na powierzchni żyłki roboczej przedstawiono na rysunku 2. Największe różnice w nagrzewaniu izolacji pod wpływem prądu indukowanego w żyłce powrotnej zarejestrowano w przypadku układu 1-fazowego. Ustalona temperatura dopuszczalna ( $90^\circ\text{C}$ ) izolacji z polietylenu sieciowanego przy rozwartej żyłce powrotnej została osiągnięta przy prądzie roboczym około 400 A (krzywa 1). Natomiast przy zwartej żyłce powrotnej, w której indukował się prąd 130 A temperatura  $90^\circ\text{C}$  została osiągnięta już przy ok. 365 A (krzywa 2). Podobne różnice obciążalności (odpowiednio 408 i 370 A) uzyskano dla kabla  $1 \times 120/50 \text{ mm}^2$  — krzywe 1 i 2 na rysunku 3.



**Rys. 2.** Wpływ prądu żyły roboczej na ustaloną temperaturę izolacji kabla  $1 \times 70/25 \text{ mm}^2$ .  
 1, 3 - żyła powrotna rozwartą; 2, 4 - żyła powrotna zwartą; 1, 2 - kabel samotny; 3, 4 -  
 kable w systemie 3-fazowym ułożone w układzie płaskim; 5 - system 3-fazowy w układzie  
 trójkątnym ze zwartą lub rozwartą żyłą powrotną



**Rys. 3.** Wpływ prądu żyły roboczej na ustaloną temperaturę izolacji kabla  $1 \times 120/50 \text{ mm}^2$ .  
 1, 3 - żyła powrotna rozwartą; 2, 4 - żyła powrotna zwartą; 3, 4 - kable w systemie  
 3-fazowym ułożone w układzie płaskim; 5 - system 3-fazowy w układzie trójkątnym ze zwartą  
 lub rozwartą żyłą powrotną

Oznacza to, że wskutek prądów indukowanych w żyłce powrotnej obciążalność kabli ułożonych ze znacznym odstępem między żyłkami poszczególnych faz, może obniżyć się o ok. 10%. Przytoczone na wykresach wyniki nagrzewania izolacji uzyskano (lub przeliczono) przy temperaturze otoczenia 20°C.

W przypadku kabli pracujących w układzie trójfazowym i ułożonych płasko w odstępach równych ich średnicy zauważono mniejszy wpływ prądów indukowanych w żyłce powrotnej niż dla układu 1-fazowego. Temperatura 90°C izolacji kabla środkowego dla przypadków z żyłką powrotną rozwartą i zwartą jest osiągana przy prądach różniących się o ok. 15 A — krzywe 3 i 4 na rysunku 2. Dla kabli 1×120/50 mm<sup>2</sup> temperatury graniczne izolacji dla obu przypadków uzyskano przy prądach żyły roboczej 403 A oraz 388 A.

Podczas badań kabli umieszczonych w wiązce trójkątnej bez odstępów między żyłkami uzyskano zbliżone charakterystyki nagrzewania izolacji bez względu na fakt, czy żyłka powrotna była zwarta czy rozwarta — krzywe 5 na rysunku 2 i 3. Przeprowadzone wcześniej badania napięć i prądów indukowanych [2, 3] wskazują, że w takiej konfiguracji kabli prądy indukowane w żyłkach powrotnych są ponad 4-krotnie mniejsze, niż rejestrowane w układzie 1-fazowym. Z tego względu ilość ciepła wydzielonego wskutek przepływu prądu przez żyłkę powrotną w tej konfiguracji jest znacznie mniejsza i ma pomijalny wpływ na przyrost temperatury izolacji.

#### 4. Wnioski

1. Ciepło wydzielane wskutek przepływu prądów indukowanych w żyłkach powrotnych kabli może zmniejszać obciążalność kabli ze względu na podwyższenie temperatury izolacji.
2. Największy, sięgający 10% spadek obciążalności zarejestrowano dla kabli pracujących w układzie 1-fazowym. Podobnych rezultatów należy oczekiwać przy znacznych (rzędu kilku średnic kabla) odstępach między poszczególnymi żyłkami.
3. Przy ułożeniu trzech kabli 1-żyłkowych w układ trójkątny i przy obciążeniu symetrycznym faz, występuje silne (ok. 4-krotne) zmniejszenie wartości prądów indukowanych w żyłkach powrotnych, jako skutek skojarzenia strumienia magnetycznego poszczególnych faz. W takiej konfiguracji kabli nie zauważono wpływu tych prądów na nagrzewanie izolacji kabli.

#### Literatura

- [1] **Włodarski R., Bucholc J.:** *Linie kablowe bardzo wysokich napięć. Projektowanie i budowa.* WNT, Warszawa 1979
- [2] **Boryń H., Wojtas S., Wasilenko E.:** *Napięcia indukowane w metalowych powłokach jednożyłkowych kabli średniego napięcia.* Materiały II Ogólnopol. Symp. IW-94, Poznań 1994, s. 219–222
- [3] **Boryń H., Wojtas S.:** *Wpływ konstrukcji jednożyłkowego kabla średniego napięcia na napięcia i prądy indukowane w metalowych powłokach.* Materiały Konf. Nauk.-Techn. Kable Elektroenergetyczne i Telekomunikacyjne, Nałęczów 22–24.01.97

INFUENCE OF METALLIC SHIELD INDUCTION CURRENTS ON INSULATION  
TEMPERATURE OF POLYETHYLENE CABLES

The paper presents investigation results of an influence of metallic shield induction currents on insulation temperature of medium voltage power cables. It has been stated that the lowest current carrying capacity was recorded for both 1-phase cable lines and 3-phase systems with evidently separated cables. In threefoil arrangement an increase of cable insulation temperature was negligible.