

Wojciech Dzienis

## Analiza wpływu zwarć odległych w sieci trakcyjnej systemu prądu stałego o napięciu 3 kV na parametry napięcia systemu trakcyjnego i sieci zasilającej

System trakcji elektrycznej prądu stałego w Polsce zasilany jest głównie z sieci średniego napięcia na następujących poziomach znamionowych: 15, 20 kV oraz 30 kV, które jest sukcesywnie eliminowane. Podstacje trakcyjnych zasilanych z sieci średniego napięcia obecnie w eksploatacji jest 452. Występują również podstacje trakcyjne zasilane napięciem 110 kV, których obecnie eksploatuje się 28. Sieć trakcyjna, podobnie jak sieci prądu przemiennego, narażona jest na szereg zakłóceń, w tym zwarcia, które występują stosunkowo często. Mogą one być spowodowane nie tylko uszkodzeniem izolacji, wadą mechaniczną przewodów sieci jezdnej, ale również uszkodzeniami w taborze kolejowym. Zagadnienia te są przedmiotem rozważań w niniejszym artykule.

W sieci trakcyjnej wyróżnia się zwarcia występujące w samej podstacji trakcyjnej, jak również w jej pobliżu. W tych miejscach zwarcia prąd ustalony osiąga największe wartości, rzędu kilkunastu kiloamperów do nawet kilkudziesięciu kiloamperów, w przypadku podstacji trakcyjnych z jednostopniową transformacją napięcia [11]. Zwarcia te nazywa się zwiarciami bliskimi. Zwarcia występujące w punktach bardziej odległych nazywa się zwiarciami odległymi. Charakteryzują się one mniejszymi wartościami zwarcia prądu ustalonego, rzędu do kilku kiloamperów [3, 12]. Ze względu na wartość tych prądów, szczególnie w układzie zasilania, gdzie pomiędzy podstacjami trakcyjnymi występuje odległość przekraczająca nawet 20 km, wartość

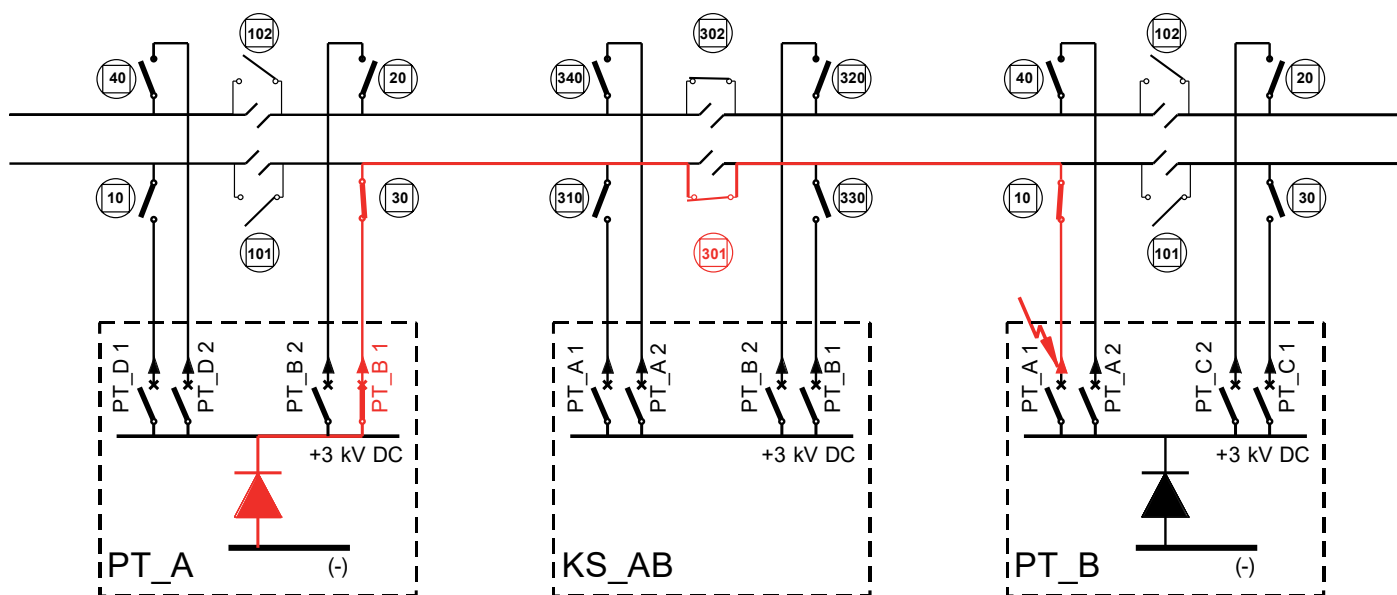
ustalonego prądu zwarcia jest porównywalna z prądami obciążenia. Obecnie w układzie zasilania trakcyjnego występują sytuacje, kiedy odległość pomiędzy współpracującymi podstacjami trakcyjnymi wynosi jedynie około 3,3 km, a sieć trakcyjna ma przekrój nawet 450 mm<sup>2</sup>. W tym celu, niezależnie od obliczeń projektowych, przy zmianie konfiguracji układu zasilania, w szczególności po przebudowie sieci trakcyjnej, obiektu zasilania sieci trakcyjnej, powinno przeprowadzać się próby zwarcia.

Występowanie zwarć w sieci trakcyjnej ma wpływ nie tylko na parametry napięcia systemu zasilania trakcyjnego, ale również na parametry napięcia w sieci zasilającej podstacje trakcyjne. Ze względu na czas niezbędny do wyłączenia przez wyłącznik szybki zwarcia, szczególnie przy zwiarcia odległych, w sieci zasilającej podstację trakcyjną, jak również w sieci jezdnej mogą wystąpić zapady napięcia zasilającego [2].

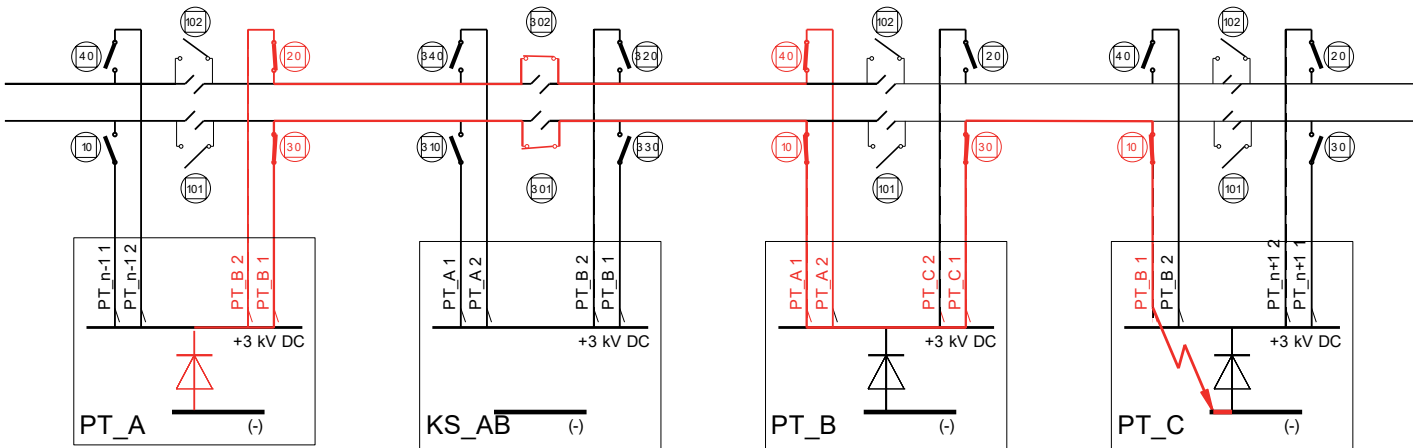
W niniejszej pracy przedstawiono zarejestrowane podczas prób zwarcia wyniki pomiarów następujących wielkości: prądu zwarcia, napięcia systemu trakcyjnego, napięcia w sieci zasilającej, prądów w sieci zasilającej. Dokonano również analizy zarejestrowanych przebiegów napięć i prądów.

### Charakterystyka układów, w których wykonywano próby zwarcia

Próby zwarcia wykonywano w układzie zasilania elektrotrakcyjnego na odcinkach, które podlegały modernizacji. Układ zasilania elektrotrakcyjnego konfigurowano w taki sposób, aby



Rys. 1. Schemat układu zasilania elektrotrakcyjnego, w którym wykonywano próby zwarcia, gdzie: PT\_A – podstacja trakcyjna A zasilająca zwarcie, PT\_B – podstacja trakcyjna B, w której wykonywano zwarcie, KS\_AB – kabina sekcyjna AB, PT\_B 1 – zasilacz sieci jezdnej toru nieparzystego w podstacji trakcyjnej A w kierunku podstacji trakcyjnej B



**Rys. 2.** Schemat układu zasilania elektrotrakcyjnego, w którym wykonywano próby zwarcia przy pracy PT-B jako kabina sekcyjna, gdzie: PT\_A – podstacja trakcyjna A zasilająca zwarcie, PT\_B – podstacja trakcyjna B pracująca jako kabina sekcyjna, PT\_C – podstacja trakcyjna w której wykonywano zwarcie, KS\_AB – kabina sekcyjna AB, PT\_B 1 – zasilacz sieci jezdnej toru nieparzystego w podstacji trakcyjnej A w kierunku podstacji trakcyjnej B

osiągać jak najmniejsze wartości ustalonego prądu zwarciego. Dla linii dwutorowej z kabiną sekcyjną pomiędzy dwiema podstacjami trakcyjnymi kabina była wyłączana z układu zasilania elektrotrakcyjnego, a łącznik sekcjonowania podłużnego przy niej – zamykany. Z danej podstacji trakcyjnej zasilany był obwód zwarciovych. Natomiast w sąsiedniej podstacji trakcyjnej podłączano łącznik zwarciovych. Wyzwalacz pierwotny wyłącznika szybkiego w obwodzie zwarciovym ustawiany był na maksymalną wartość prądu wyzwalania, tj. 4 kA. Badaniu poddano również przypadek, kiedy w podstacji trakcyjnej zlokalizowanej pomiędzy dwiema innymi, wyłączony zostaje zespół prostownikowy. Jest to awaryjna sytuacja ruchowa, która jednak zdarza się w praktyce eksploatacyjnej, szczególnie w przypadku awarii linii zasilających podstację trakcyjną lub braku napięcia w sieci operatora systemu dystrybucyjnego. Wówczas podstacja trakcyjna pracuje jako kabina sekcyjna [1].

Jako łącznik zwarciovych stosowany był wyłącznik szybki typu BWS o prądzie znamionowym 3 150 A ze sterownikiem mikroprocesorowym sterującym pracą wyłącznika. Łącznik zwarciovych (wyłącznik BWS) przyłączany był z jednej strony do głowicy kabla właściwego zasilacza, a z drugiej – do szyny minus w celu minusowej, tak by utworzył obwód zamknięty. W celu uniknięcia odbijania styku ruchomego podczas załączania oraz wyłączania po przekroczeniu nastawy prądowej strumień cewki wyłączającej został osłabiony. Wyłączanie wyłącznika zwarciovych odbywało się po zaprogramowanej w sterowniku mikroprocesorowym nastawie czasowej. Na rysunku 1 przedstawiono podstawowy układ zasilania trakcyjnego, w którym realizowano próby zwarcia.

Badaniom poddano również odcinek zasilania elektrotrakcyjnego, w którym w miejsce dotychczasowej kabiny sekcyjnej KS-BC wybudowano podstację trakcyjną PT-C, przez co została zmniejszona odległość pomiędzy podstacjami trakcyjnymi. W układzie PT-A-KS-AB-PT-B-PT-C wykonano szereg pomiarów, tj. w podstawowym układzie zasilania, gdzie PT-A zasilą odcinek do sąsiedniej podstacji PT-B. Wykonano również pomiary dla układu awaryjnego, kiedy PT-B pracuje jako kabina sekcyjna, tzn. nie stanowi źródła zasilania trakcyjnego. W obu przypadkach obwód zwarciovych zasilany był z PT-A, a kabina sekcyjna KS-AB została wyłączona. W pierwszym przypadku zwarcie wykonywano w PT-B na głowicy kabla zasilacza w kierunku PT-A (rys. 1). Natomiast w drugim przypadku, przy wyłączonym zespole prostowni-

kowym w PT-B, zwarcie wykonywane było w PT-C na głowicy kabla zasilacza w kierunku PT-B (rys. 2). W ten sposób możliwa była weryfikacja minimalnych prądów zwarcia w niekorzystnych warunkach, które w praktyce eksploatacyjnej mają jednak miejsce.

Do rejestracji prądów i napięć po stronie prądu przemiennego wykorzystano analizator jakości energii elektrycznej FLUKE 1760. Natomiast rejestrację prądu zwarciovych oraz napięcia w układzie zasilania elektrotrakcyjnego realizowano oscyloskopem cyfrowym za pośrednictwem przetworników halla, odpowiednio prądowego typu LT 10000-S lub LT 2005-S oraz napięciowego typu LV 100-4000/SP12.

### Dopuszczalne poziomy napięcia w sieci zasilającej podstacje trakcyjne oraz w sieci trakcyjnej

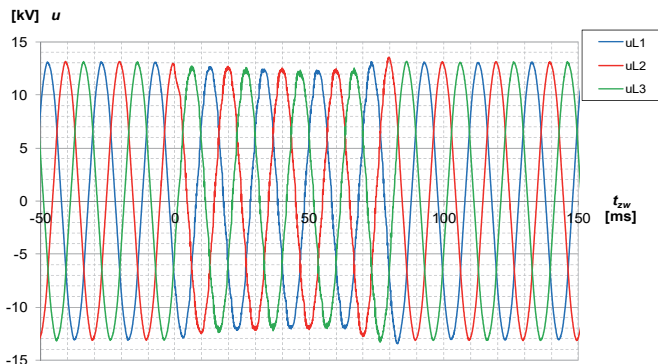
Zgodnie z normą [6], a także rozporządzeniem [9] w normalnych warunkach pracy, wyłączając przerwy w zasilaniu, w ciągu każdego tygodnia, 95% ze zbioru 10-minutowych średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale  $\pm 10\%$  wartości napięcia deklarowanego – tutaj napięcia znamionowego sieci. Z kolei zapady napięcia, definiowane jedynie przez normę [6], powodowane są przez zwarcia w instalacji odbiorców lub publicznych sieciach rozdzielczych. Według normy [6] zapad napięcia ma miejsce, jeżeli następuje nagłe zmniejszenie się napięcia zasilającego do wartości zawartej w przedziale od 90% do 1% napięcia deklarowanego, po którym, w krótkim czasie, następuje wzrost napięcia do poprzedniej wartości. Umownie czas trwania zapadu napięcia wynosi od 10 ms do 1 min. Głębokość zapadu napięcia definiowana jest z kolei jako różnica między minimalną wartością skuteczną napięcia w czasie trwania zapadu a napięciem deklarowanym (tutaj wartością znamionową sieci). W tabeli 1 zestawiono przedziały wartości skutecznych napięć odpowiadających zapadom napięcia w sieciach elektroenergetycznych o napięciu 15 i 110 kV.

**Tab. 1.** Granice przedziału napięcia zasilającego odpowiadające zapadom napięcia

Lp.	Napięcie znamionowe sieci	$U_{n90\%}$	$U_{n1\%}$
	[kV]	[kV]	[kV]
1.	15	13,50	0,15
2.	110	99,00	1,10

Natomiast dla układu zasilania elektrotrakcyjnego systemu prądu stałego o napięciu znamionowym 3 kV, wymagania parametrów napięcia określa norma [7]. W normie tej deklarowane są następujące poziomy napięć:

- ◆  $U_{\min 1}$  – 2 000 V – najniższe napięcie ciągłe;
- ◆  $U_{\max 1}$  – 3 600 V – najwyższe napięcie ciągłe;
- ◆  $U_{\max 2}$  – 3 900 V – najwyższe napięcie o czasie trwania do 5 min.

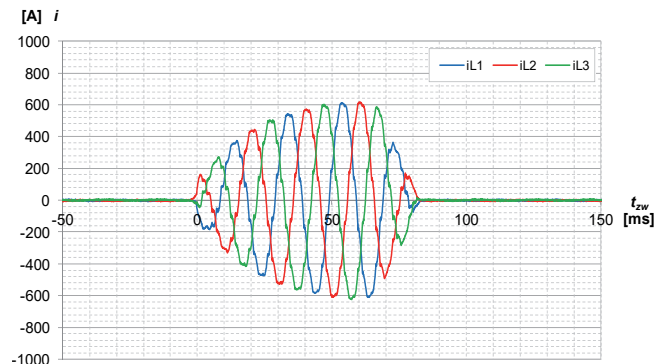


**Rys. 3.** Przebiegi czasowe napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie

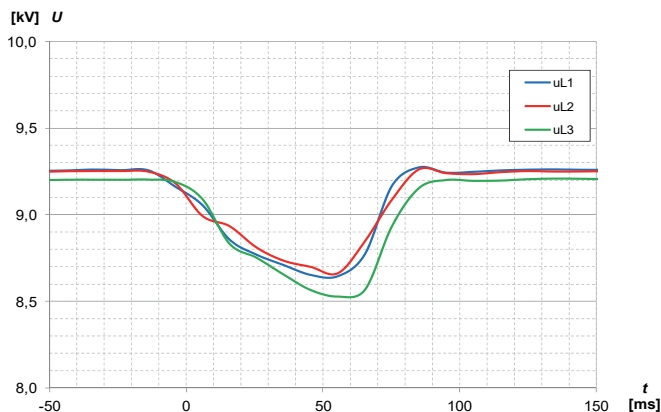
Za przepięcie natomiast przyjmuje się przemijający przyrost napięcia o czasie trwania do 2 s. Ze względu na zwarcia w układzie zasilania elektrotrakcyjnego istotne są przepięcia o średnim czasie trwania, tj. od 20  $\mu$ s do 20 ms, powstałe w wyniku wyłączenia prądów w obwodach indukcyjnych [4, 5].

## Wyniki badań

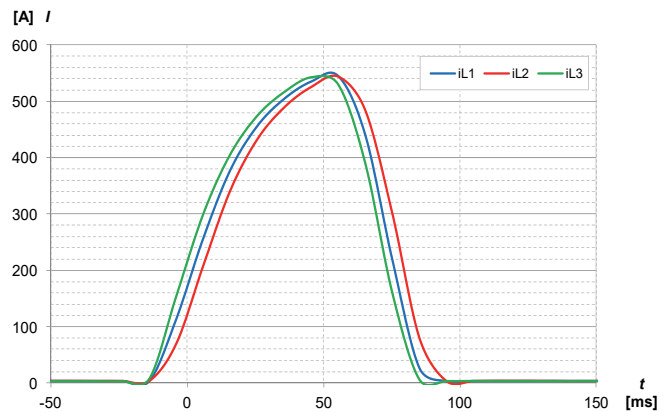
Podczas przeprowadzonych badań zarejestrowano przebiegi napięć oraz prądów po stronie prądu przemiennego oraz po stronie



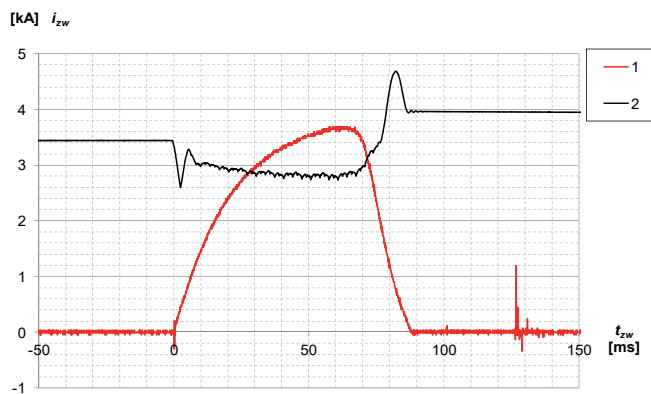
**Rys. 4.** Przebiegi czasowe prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



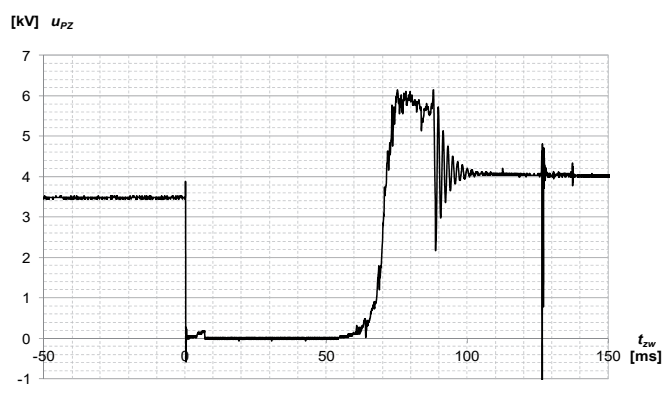
**Rys. 5.** Przebiegi wartości skutecznej napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



**Rys. 6.** Przebiegi wartości skutecznej prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



**Rys. 7.** Przebiegi czasowe: 1 - prądu zwarciovego w obwodzie zwarciovym, 2 - napięcia na szynie głównej w rozdzielni prądu stałego o napięciu 3 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



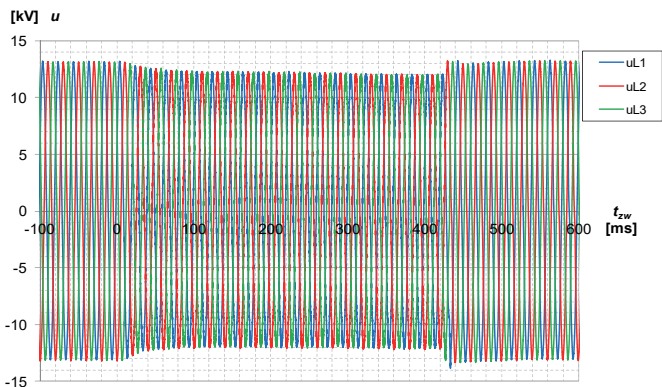
**Rys. 8.** Przebieg czasowy napięcia na głowicy kabla zasilacza w podstacji trakcyjnej PT-B, w której wykonywano zwarcie

prądu stałego o napięciu 3 kV. Poniżej przedstawione zostaną przebiegi zarejestrowane w 3 wybranych odcinkach zasilania trakcyjnego.

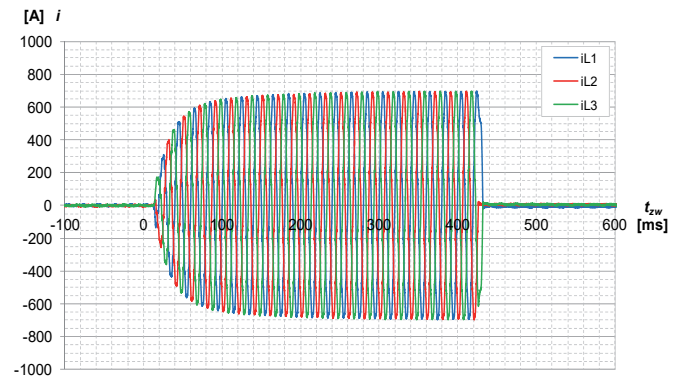
Odcinek 1 przy próbie zwarciowej nr 1: układ zasilania według rysunku 1, odległość pomiędzy PT: 13,45 km, moc zwarciowa w PT-A zasilającej zwarcie: 220 MVA, sieć trakcyjna: 2C120-2C-3 ( $s = 440 \text{ mm}^2$ ), napięcie zasilające PT-A: 15 kV. Zwarcie zosta-

ło wyłączone przez wyłącznik szybki w punkcie zwarcia. Wyniki przedstawiają rysunki 3-8. W tym samym odcinku zasilania wykonano również próbę zwarciową nr 2, przy której zwarcie zostało wyłączone przez wyłącznik mocy transformatora prostownikowego. Wyniki przedstawiają rysunki 9-14.

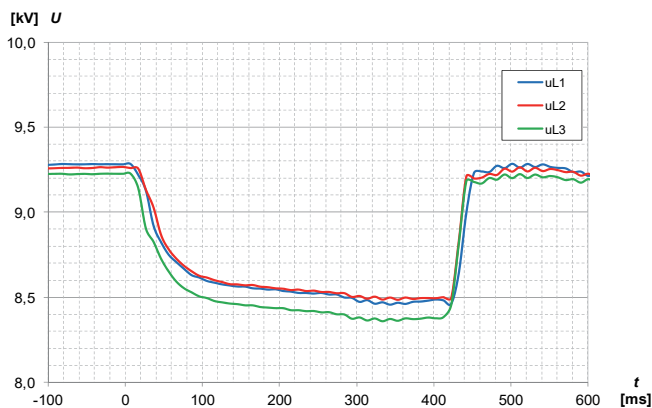
Z przedstawionych przebiegów czasowych napięć fazowych wynika, że zwarcie odległe ma widoczny wpływ na wartość napięć



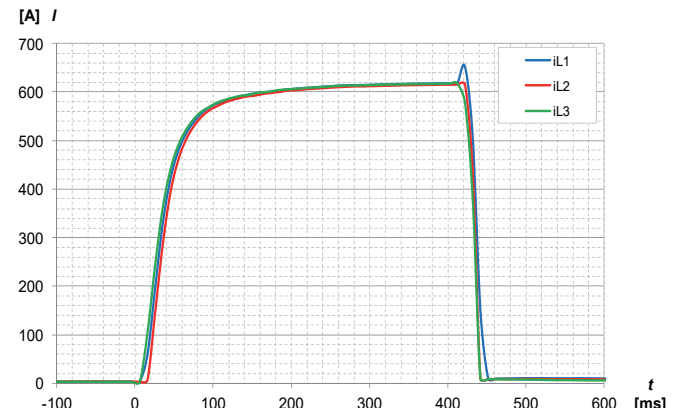
**Rys. 9.** Przebiegi czasowe napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



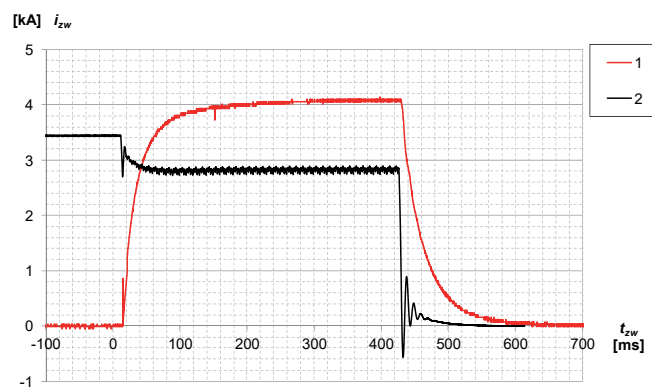
**Rys. 10.** Przebiegi czasowe prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



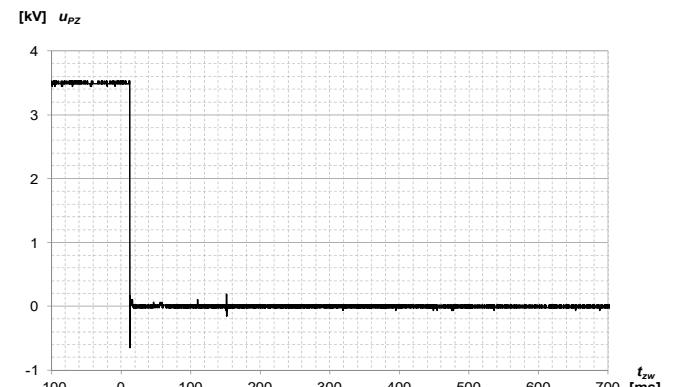
**Rys. 11.** Przebiegi wartości skutecznej napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



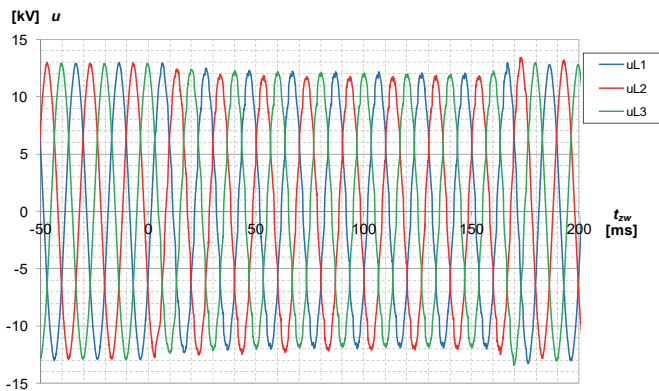
**Rys. 12.** Przebiegi wartości skutecznej prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



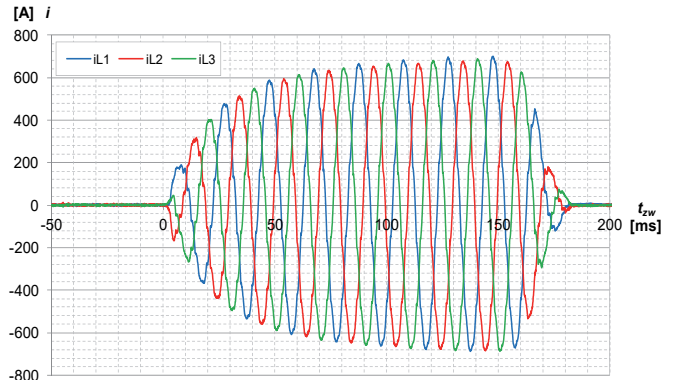
**Rys. 13.** Przebiegi czasowe: 1 – prądu zwarciowego w obwodzie zwarciowym, 2 – napięcia na szynie głównej w rozdzielni prądu stałego o napięciu 3 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



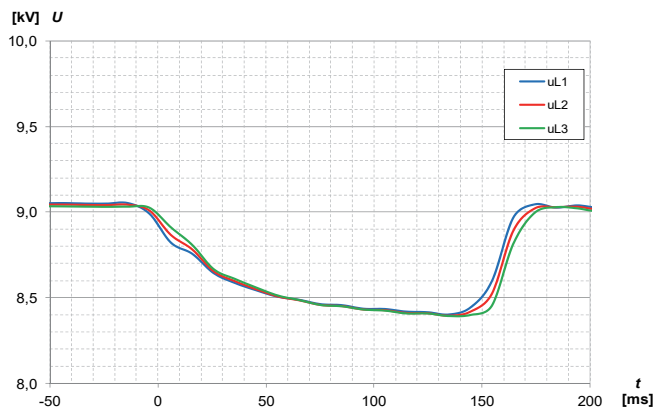
**Rys. 14.** Przebieg czasowy napięcia na głowicy kabla zasilacza w podstacji trakcyjnej PT-B, w której wykonywano zwarcie



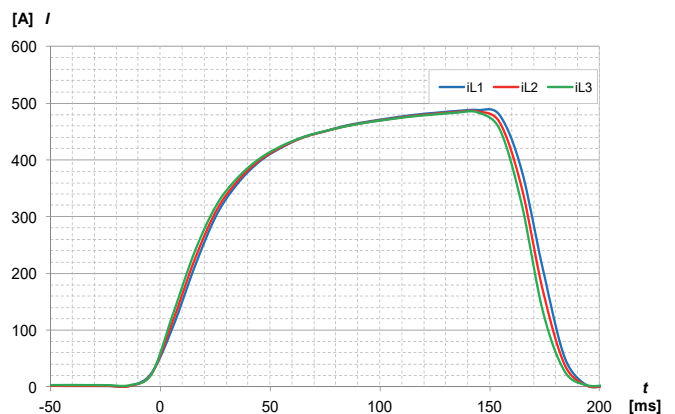
Rys. 15. Przebiegi napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



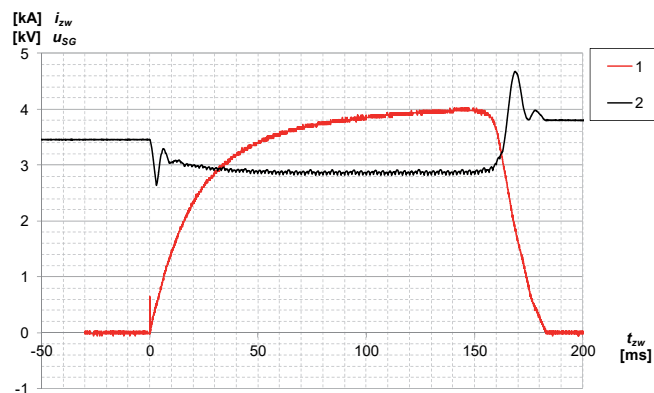
Rys. 16. Przebiegi czasowe prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



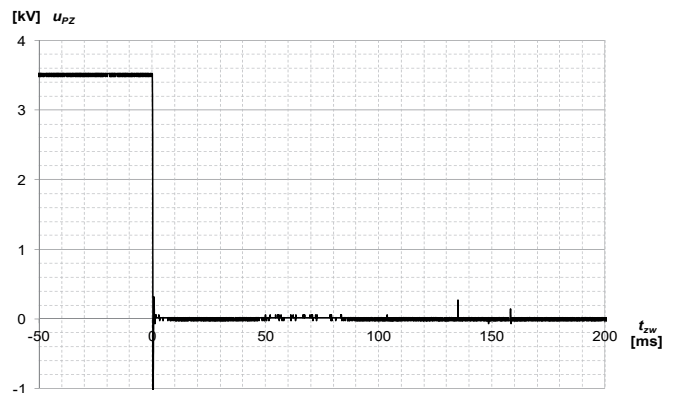
Rys. 17. Przebiegi wartości skutecznej napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



Rys. 18. Przebiegi wartości skutecznej prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



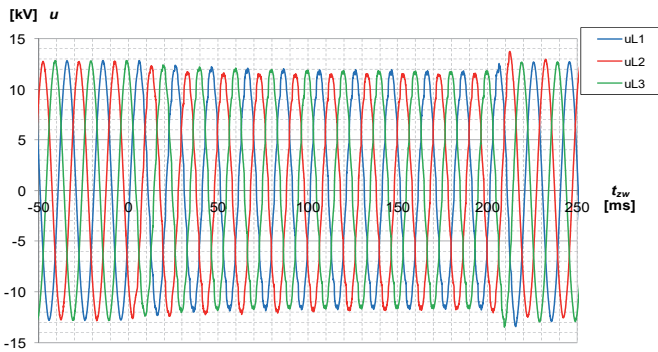
Rys. 19. Przebiegi czasowe: 1 – prądu zwarciovego w obwodzie zwarciovym, 2 – napięcia na szynie głównej w rozdzielni prądu stałego o napięciu 3 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



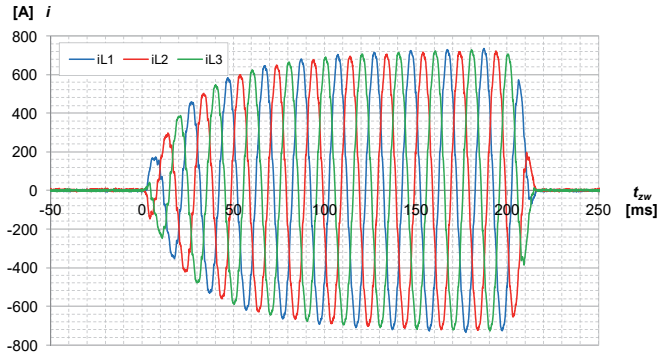
Rys. 20. Przebieg czasowy napięcia na głowicy kabla zasilacza w podstacji trakcyjnej PT-B, w której wykonywano zwarcie

fazowych w przypadku podstacji trakcyjnych zasilanych napięciem znamionowym o wartości 15 kV (rys. 3, 9, 15, 21). Jest to spowodowane dwiema okolicznościami. Wartość skuteczna prądu po stronie górnego napięcia transformatora prostownikowego jest na poziomie kilkuset amperów i wartość chwilowa prądu przekracza w każdej z prób 600 A (rys. 4, 10, 16, 22). Drugim powodem jest poziom mocy zwarciowej, która dla rozpatrywanych przypadków wynosi 220 MVA i 243 MVA. Natomiast przy

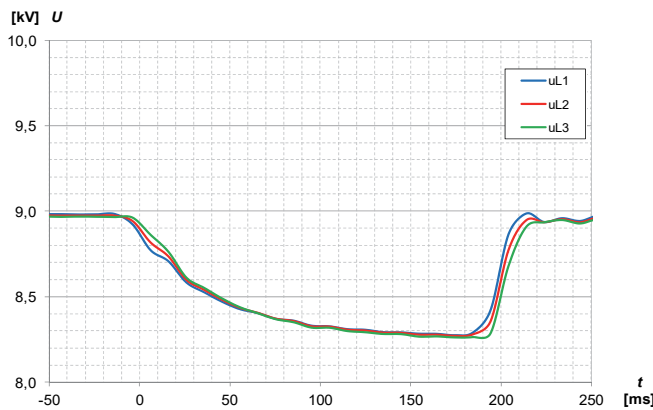
napięciu zasilania 110 kV brak jest zauważalnego wpływu (rys. 28), ponieważ prąd dla tego poziomu napięcia osiąga relatywnie niewielką wartość skuteczną, tj. około 60 A (rys. 31). Z drugiej strony – moc zwarciowa na szynach zbiorczych 110 kV podstacji trakcyjnej wynosi 1 531 MVA, a więc przeszło 6 razy więcej niż przy napięciu zasilania 15 kV. Zarejestrowane podczas zwarć odległych wartości skuteczne napięć zasilających po stronie górnego napięcia transformatorów prostownikowych nie wykazują



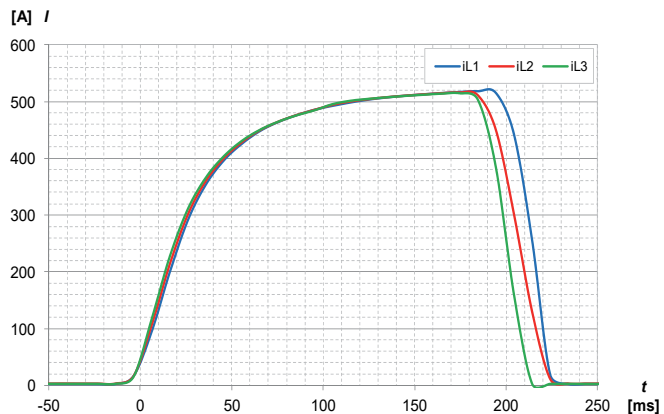
**Rys. 21.** Przebiegi czasowe napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



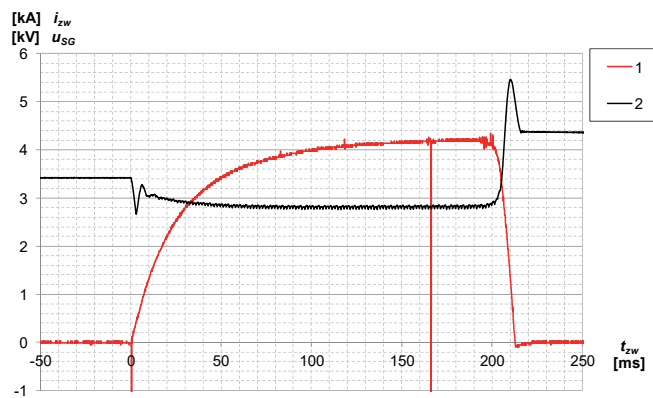
**Rys. 22.** Przebiegi czasowe prądów przewodowych transformatora prostokątnego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



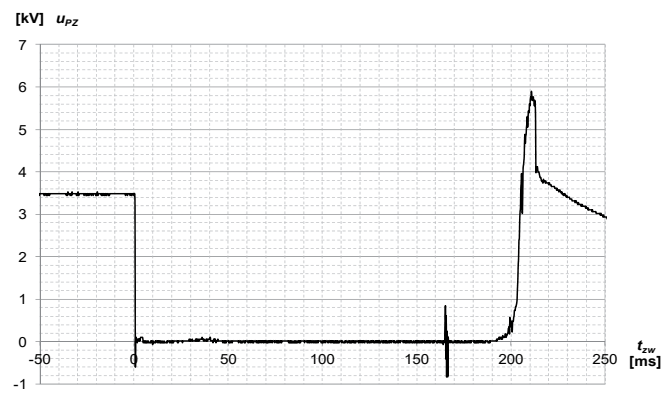
**Rys. 23.** Przebiegi wartości skutecznej napięć fazowych na szynach zbiorczych 15 kV podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



**Rys. 24.** Przebiegi wartości skutecznej prądów przewodowych transformatora prostokątnego po stronie 15 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie



**Rys. 25.** Przebiegi czasowe: 1 – prądu zwarciovego w obwodzie zwarciovym, 2 – napięcia na szynie głównej w rozdzielni prądu stałego o napięciu 3 kV w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie

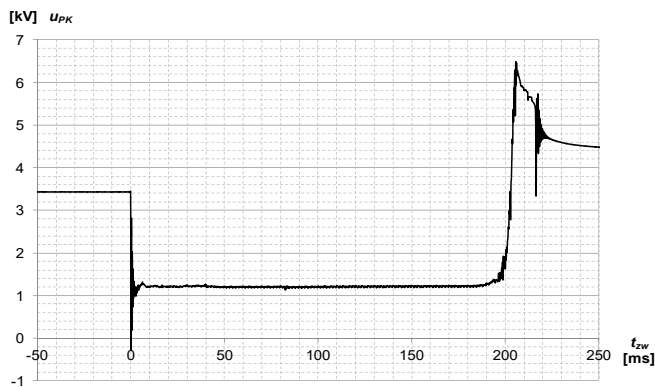


**Rys. 26.** Przebieg czasowy napięcia na głowicy kabla zasilacza w podstacji trakcyjnej PT-C, w której wykonywano zwarcie

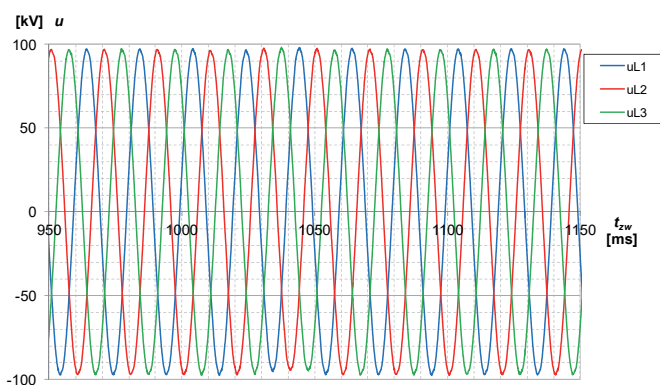
występowania zapadów napięcia. Najniższa wartość skuteczna napięcia fazowego zasilającego podczas zwarcia, osiągnięta została podczas próby na odcinku nr 2 i wyniosła około 8,25 kV (rys. 17). W przeliczeniu na wartości międzyfazowe jest to 14,29 kV. Zwarcie trwało przy tym około 150 ms, zostało wyłączone przez wyłącznik zespołu prostownikowego, a prąd zwarciovym osiągnął wartość ustaloną (rys. 16, 19). Przepływ prądu po stronie górnego napięcia transformatorów prostownikowych w podstacjach trakcyjnych zasilanych średnim napięciem powodował

obniżenie wartości skutecznych fazowych napięcia zasilającego o około 700 (rys. 17, 23) do 750 V (rys. 5, 11). W przypadku podstacji trakcyjnej zasilanej napięciem o wartości 110 kV obniżenie wartości skutecznych fazowych napięcia zasilającego wynosiło około 1 kV (rys. 30). Z powyższych rozważań wynika więc, że zwarcia odległe w badanych przypadkach nie powodują zapadów napięcia zasilającego.

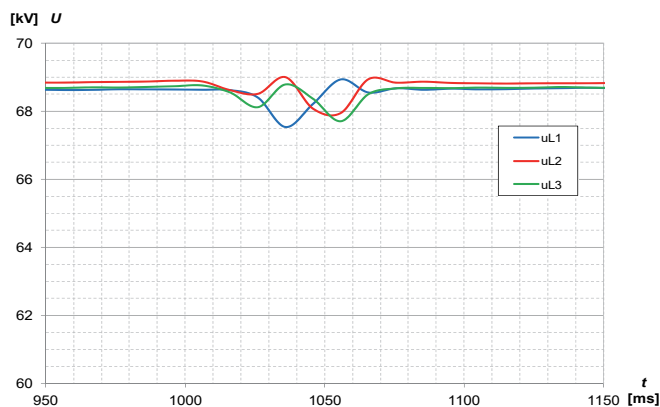
Analizie poddano również parametry napięcia w systemie zasilania elektrotrakcyjnego. Podczas prób, pomiar napięcia systemu



Rys. 27. Przebieg czasowy napięcia w sieci jezdnej w rejonie PT-B



Rys. 28. Przebiegi czasowe napięć fazowych na szynach zbiorczych 110 kV podstacji trakcyjnej zasilającej zwarcie

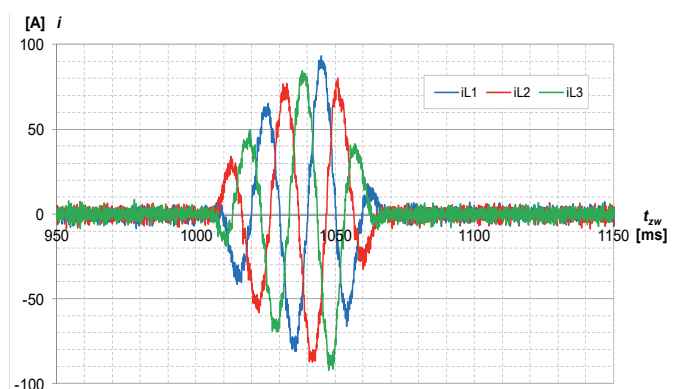


Rys. 30. Przebiegi wartości skutecznej napięć fazowych na szynach zbiorczych 110 kV podstacji trakcyjnej zasilającej zwarcie

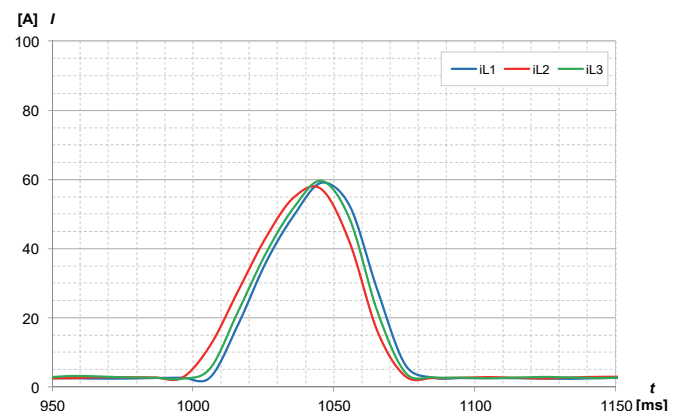
zasilania elektrotrakcyjnego wykonywano w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie, jak również w podstacji trakcyjnej PT-B, gdzie wykonywano zwarcie. Pomiar napięcia w podstacji trakcyjnej PT-A podczas zjawiska pozwolił ocenić jego sztywność. Nawet przy prądzie na poziomie około 4 kA zwarcie powodowało zmniejszenie napięcia na szynie głównej PT-A do – jedynie wartości około 2,8 kV (rys. 7, 13, 19, 25), a więc znacznie więcej niż najniższe napięcie ciągłe dla systemu prądu stałego o napięciu 3 kV, określonego przez normę [7]. Oczywiście jest to pomiar na szynie głównej w podstacji trakcyjnej podczas zjawiska. W sieci trakcyjnej w miarę oddalania się od podstacji trakcyjnej; podczas zjawiska napięcie to będzie się zmniejszało (rys. 27). Należy jed-

nak przy tym podkreślić, że w układzie pracy bez zakłóceń wartości prądu zasilacza osiągają wartości znacznie mniejsze i obecnie nie przekraczają 2,5 kA, nawet przy zasilaniu jednostronnym.

Badano również układ awaryjny (rys. 2), gdzie z pracy zostaje wyłączony zespół prostownikowy w podstacji trakcyjnej PT-B, a odcinek pomiędzy podstacjami trakcyjnymi PT-A a PT-C o długości 24,08 km, zasila jedynie podstacja trakcyjna PT-A. W tym układzie prąd zwarcia odległego również osiągnął wartość na poziomie około 4 kA, a więc wartość porównywalną do układu PT-A-PT-B. Porównywalna wartość prądu zwarcia spowodowana jest tym, że pomiędzy podstacjami trakcyjnymi PT-A i PT-B, w przepływie prądu zwarcia, udział biorą sieci jezdne dwóch torów szlakowych. Jest to układ typowy dla pracy kabinowej, która występuje podczas eksploatacji w stanach awaryjnych układu



Rys. 29. Przebiegi czasowe prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 110 kV w podstacji trakcyjnej zasilającej zwarcie



Rys. 31. Przebiegi wartości skutecznej prądów przewodowych transformatora prostownikowego po stronie 110 kV w podstacji trakcyjnej zasilającej zwarcie

zasilania elektrotrakcyjnego. Samo zaś badanie w tym układzie, ukierunkowane było na badanie wartości prądu zwarcia, w celu ustalenia maksymalnej dopuszczalnej nastawy prądowej wyłączaczy pierwotnych wyłączników szybkich w takim układzie. Napięcie na szynie głównej w podstacji trakcyjnej PT-A zasilającej zwarcie uległo zmniejszeniu do około 2,8 kV. Podczas zjawiska rejestrowano również napięcie w rejonie podstacji trakcyjnej PT-B. W tym przypadku napięcie uległo zmniejszeniu do wartości około 1,2 kV. Przy czym, co należy podkreślić, jest to pomiar napięcia wykonany przy zasilaniu jednostronnym i prądzie zwarcia na poziomie 4 kA, a więc prądzie znacznie większym niż dopuszczalny pobór prądu na poziomie 3,2 kA [8, 10]. W eksploatacji,



**Rys. 32.** Przebiegi czasowe: 1 – prądu zwarciego w obwodzie zwarciovym, 2 – napięcia na szynie głównej w rozdzielni prądu stałego o napięciu 3 kV w podstacji zasilającej zwarcie

w przypadku konieczności pracy podstacji trakcyjnej PT-B przy wyłączonych zespołach prostownikowych, odcinek zasilają podstacja trakcyjna PT-C. A więc warunki napięciowe w rejonie podstacji trakcyjnej PT-B z pewnością będą bardziej optymalne.

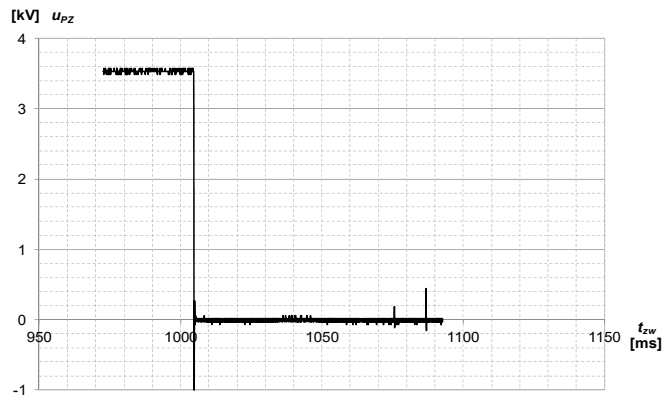
Natomiast podczas procesu wyłączania prądu zwarciego przez wyłącznik szybki, z uwagi na indukcyjny charakter obwodu, występują przepięcia. Przepięcia łączeniowe w badanych przypadkach nie przekraczały wartości około 6,5 kV, a czas ich trwania wynosił maksymalnie około 20 ms (rys. 8, 26, 27).

### Podsumowanie

Przebieg i wartość prądu zwarciego zależą od stanu pracy układu zasilania elektrotrakcyjnego. W eksploatacji szczególnie trudne do identyfikacji są zwarcia odległe, podczas których prądy osiągają najmniejsze wartości. Jest to istotny problem, tym bardziej, że obecnie układ zasilania elektrotrakcyjnego powinien sprostać wymogom poboru prądu na poziomie 3,2 kA. Aby zapewnić pobór prądu na tym poziomie, w ostatnich latach układ zasilania elektrotrakcyjnego został zmodernizowany. Wykonane podczas prób zwarciovych pomiary prądu zwarciego potwierdzają, że nawet w stanach awaryjnych układu zasilania, prądy zwarc odległych są na poziomie zapewniającym; z jednej strony pobór prądu bez ograniczeń, z drugiej zaś nie ma obaw co do wyłączalności zwarc odległych. Pomierzone przy tym napięcia w układzie prądu stałego również potwierdzają możliwość zapewnienia napięcia na odpowiednim poziomie. Wykonane jednocześnie pomiary napięcia zasilającego podstacje trakcyjne pozwalają stwierdzić, iż w badanych przypadkach zwarcia odległe w układzie zasilania elektrotrakcyjnego nie powodują zapadów napięcia w sieci zasilającej podstacje trakcyjne.

### Bibliografia

1. Instrukcja dla dyspozytorów PKP Energetyka S.A. ET-1, Warszawa 2015.
2. Kowalak R., *Analiza wpływu zwarc w sieci trakcyjnej na pracę elektroenergetycznej sieci zasilającej*, Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2004.
3. Maciołek T., Mierzejewski L., Szelać A., *Wyłączanie zwarc w systemie trakcji elektrycznej prądu stałego poprzez wyłączniki szybkie i wyłączniki mocy*, „Technika Transportu Szynowego” 2001, nr 3.
4. Mierzejewski L., Szelać A., *Funkcjonowanie systemu elektroenergetyki trakcyjnej prądu stałego w warunkach eksploatacji*



**Rys. 33.** Przebieg czasowy napięcia na głowicy kabla zasilacza w podstacji trakcyjnej, w której wykonywano zwarcie

taboru z rekuperacją energii, „Technika Transportu Szynowego” 2001, nr 6.

5. PN-EN 50124-2:2007 – Zastosowania kolejowe. Koordynacja izolacji. Część 2: Przepięcia i ochrona przeciwprzepięciowa.
6. PN-EN 50160:2002 – Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
7. PN-EN 50163:2006 – Zastosowania kolejowe. Napięcia zasilania systemów trakcyjnych.
8. PN-EN 50388:2012 – Zastosowania kolejowe. System zasilania i tabor. Warunki techniczne koordynacji pomiędzy systemem zasilania (podstacja) i taboru w celu osiągnięcia interoperacyjności.
9. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego: Dz. U. 2007 nr 93, poz. 623, z późn. zm.
10. Szelać A. i in., *Ekspertyza dotycząca układu zasilania sieci trakcyjnej linii CMK*, Praca na zlecenie PKP Energetyka S.A. wykonana przez Zakład Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
11. Tuliński K., *Doświadczenia z wdrożenia jednostopniowej transformacji napięcia 110/3 kV w podstacjach trakcyjnych PKP S.A.*, „Technika Transportu Szynowego” 2001, nr 10.
12. Wdowiak J., Mierzejewski L., Szelać A., *Projektowanie układów zasilania trakcji elektrycznej systemu prądu stałego – podstacje trakcyjne*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.

### Autor:

dr inż. **Wojciech Dzienis** – PKP Energetyka SA Oddział w Warszawie – Usługi

### Analysis influence of distant fault on the catenary traction system direct current voltage 3 kV on parameters voltage electric traction system and power supply network

The paper presents results of investigations of current and voltage on bus AC and DC traction substations connection to power supply network of MV and HV. The investigation was performed in the supply electric traction system while performance short-circuit tests to determine the minimum value of the short circuit current. They recorded values of currents and voltages. They have done an evaluation of the impact of faults on the remote electric traction system and bus bar AC traction substations.