

Andrzej Białoń, Juliusz Furman, Andrzej Kazimierczak

Badania systemu uszynień grupowych ze zmienioną długością sekcji

W otoczeniu sieci trakcyjnej elektrycznej 3 kV prądu stałego stosowany jest system ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej zwany systemem uszynień grupowych. Wzdłuż torów mogą powstawać znaczne spadki napięcia. Przyczyny powstawania tych napięć są różnorodne. Powstają one wskutek: uszkodzenia izolacji głównej sieci trakcyjnej (zwarcie), uszkodzenia sieci powrotnej, indukowane w czasie wyładowań atmosferycznych, indukowane z sieci zasilającej AC itd. W systemie uszynień grupowych połączone liną i uziemione konstrukcje wsporcze podzielone są na sekcje o długości 2,5–3,5 km.

W 2008 r. Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa rozpoczęło prace związane ze zbadaniem nowego systemu uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością sekcji (równą długości izolowanego odcinka sieci trakcyjnej, tj. 8–12 km). Praca była wykonywana na zlecenie PKP Polskie Linie Kolejowe S. A. Praca realizowana jest w dwóch etapach. W pierwszym etapie pracy przeprowadzono obliczenia prądów zwarciovych w czasie zwarcia izolacji głównej sieci w sekcji uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością. W drugim etapie przeprowadzono badania terenowe, których celem było zweryfikowanie opracowanych wariantów połączeń uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością sekcji.

Charakterystyka systemu uszynień grupowych

W systemie ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej trakcji elektrycznej 3 kV prądu stałego można wyróżnić następujące elementy przedstawione na rysunku 1, których obecność ma wpływ na jego działanie:

- EZZ – urządzenie ochrony ziemnozwarciowej w obiekcie zasilania;
- TCK – tester ciągłości kabli powrotnych;
- TZD-1N, TZD-1R – ochronniki niskonapięciowe jednokierunkowe (TZD-1N ochrona przed dodatnim potencjałem między

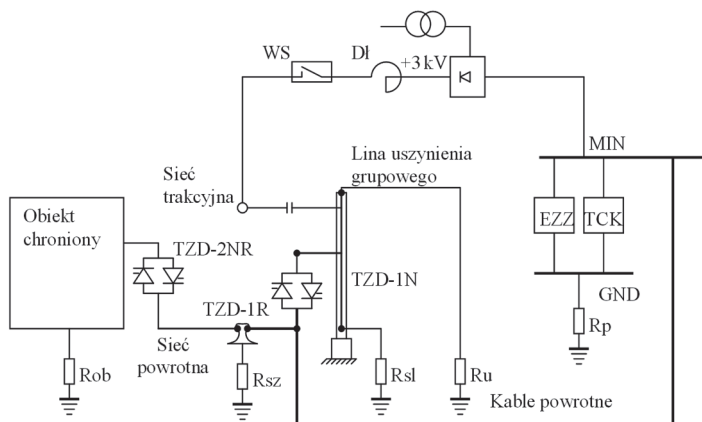
konstrukcją wsporczą a szyną, TZD-1R ochrona przed dodatnim potencjałem między szyną a konstrukcją wsporczą) stanowiące układ ochronnika dwukierunkowego, elementy systemu ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w układzie otwartym (uszynień grupowych);

- TZD-2NR – ochronnik niskonapięciowy dwukierunkowy w jednej obudowie, element systemu ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w układzie otwartym (uszynień grupowych);
- R_p – rezystancja doziemna podstacji trakcyjnej;
- R_{sl} – rezystancja doziemna konstrukcji wsporczej;
- R_u – wypadkowa rezystancja doziemna liny uszynień grupowego (R_{sl}/n);
- R_{sz} – rezystancja doziemna sieci powrotnej (układu szyn);
- R_{ob} – rezystancja doziemna obiektu chronionego;
- +3 kV – zespół zasilacza trakcyjnego;
- Dł – Filtr podstacji z dławikiem trakcyjnym;
- WS – wyłącznik szybki;
- Sieć powrotna – obiekt o stałych rozłożonych;
- Sieć trakcyjna – obiekt o stałych rozłożonych;
- Lina uszynień grupowego – obiekt o stałych rozłożonych, element systemu ochrony ziemnozwarciowej i przeciwporażeniowej w układzie otwartym (uszynień grupowych);
- Kable zasilacza – obiekt o stałych rozłożonych;
- Kable powrotne – obiekt o stałych rozłożonych.

Kolejowa sieć trakcyjna jest zasilana z podstacji trakcyjnych, rozmieszczonych wzdłuż toru w odległościach 20–25 km. Po modernizacji sieci trakcyjnej odległości między podstacjami są mniejsze i wynoszą maksymalnie 13 km. Sieć trakcyjna podzielona jest na izolowane odcinki i zasilana jest dwustronnie lub jednostronnie z sąsiednich podstacji. Tylko krańcowe odcinki linii i krótkie odgałęzienia mają zasilanie jednostronne.

W dotychczasowym rozwiązaniu systemu uszynień grupowych konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej w obrębie izolowanego odcinka sieci trakcyjnej połączone są ze sobą liną i podzielone na odizolowane od siebie sekcje o długościach 2,5–3,5 km. Końce liny uszynień grupowego połączone są z torem za pomocą ochronników niskonapięciowych (ONN). Koniec sekcji uszynień grupowego położony bliżej podstacji trakcyjnej wyposażony jest w ochronniki niskonapięciowe TZD-1N i TZD-1R zapewniające dwukierunkową ochronę w czasie zwarcia izolacji głównej sieci trakcyjnej oraz w przypadku przerwy w sieci powrotnej. Koniec sekcji uszynień grupowego położony dalej od podstacji trakcyjnej wyposażony jest w ochronnik niskonapięciowy TZD-1N zapewniający ochronę w czasie zwarcia izolacji głównej sieci trakcyjnej.

Ochronniki niskonapięciowe zapewniają stałą kontrolę napięcia między elementami połączonymi liną uszynień grupowego oraz torem. Napięcie to nie może przekroczyć wartości 125 V DC (charakterystyka ochronnika) w zakresie napięć długotrwałych oraz wartości napięć krótkotrwałych określonych w wymaganiach



Rys. 1. Rozmieszczenie urządzeń i rezystancji mających wpływ na działanie systemu

normy [2]. W ochronie przeciwporażeniowej powinny być stosowane dodatkowe środki ochrony osób postronnych i pracowników kolejowych. Do tych środków należą między innymi: właściwe oznakowanie i ograniczenie dostępu do obiektów, których dotyka nie grozi porażeniem prądem elektrycznym, odpowiednie szkolenie pracowników w zakresie dotyczącym napięć niebezpiecznych, stosowania uszynienia sieci trakcyjnej w czasie prac prowadzonych w jej obrębie oraz stosowania izolowanego osprzętu w czasie prac na torze.

Charakterystyka uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością sekcji

W systemie uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością sekcji zakłada się, że sekcje uszynienia będą się pokrywać z izolowanymi odcinkami sieci trakcyjnej. Sieć trakcyjna może być zasilana jednostronnie lub dwustronnie z podstacji odległych od siebie do 24 km. Między podstacjami zabudowane mogą być dwie sekcje uszynienia grupowego o długościach minimum 8 km i maksimum 12 km.

Sytuacja awaryjna (np. wyłączenie podstacji) spowoduje skonfigurowanie zasilania jednostronnego sieci trakcyjnej z podstacji odległych od siebie o maksimum 24 km. Zakłada się, że między tymi podstacjami znajdować się będą cztery izolowane odcinki sieci trakcyjnej i cztery sekcje uszynienia grupowego o długościach minimum 8 km i maksimum 12 km.

Nie przewiduje się łączenia sekcji uszynień grupowych w sąsiednich torach linii dwutorowej i torach stacyjnych, ponieważ mogłoby to uniemożliwić selekcję i wyłączenie uszkodzonych odcinków sieci trakcyjnej.

Końce liny uszynienia grupowego połączone będą z torem poprzez ochronniki niskonapięciowe (ONN) do środków dławików torowych ZLB240 i PMT w torach z obwodami torowymi lub bezpośrednio do obu toków szynowych toru bez obwodów torowych. Utrzymany będzie dotychczasowy system połączeń wyrównawczych międzytorowych i międzytokowych sieci powrotnej. Zakłada się ewentualną zmianę liczby ochronników ONN i sposobu ich włączenia w obrębie sekcji uszynienia grupowego ze zmodyfikowaną długością sekcji. Na rysunku 2 przedstawiono konfigurację połączeń elementów sieci trakcyjnej z uszynieniem grupowym ze zmodyfikowaną długością sekcji na linii dwutorowej.

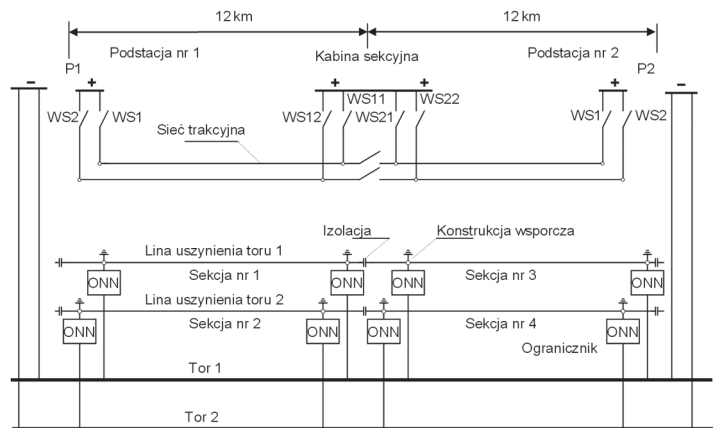
Wyniki badań symulacyjnych

Obliczenia prądów zwarciovych przy uszkodzeniach izolacji głównej sieci trakcyjnej wykonano zgodnie ze specjalnym harmonogramem obejmującym 336 prób. W tabeli 1 jako przykład przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przy zwarciu izolacji głównej sieci trakcyjnej dla prób o parametrach jakie wystąpiły podczas badań terenowych.

Otrzymane wyniki obliczeń symulacyjnych nie dały podstaw do odrzucenia koncepcji uszynień grupowych ze zmodyfikowanymi długościami sekcji, przystąpiono więc badań terenowych.

Charakterystyka poligonu do badań terenowych

Do badań wybrano system uszynień grupowych na odcinku linii nr 1 Piotrków Trybunalski – Radomsko. Na linii tej wytypowano odcinek między podstacją trakcyjną Gorzkowice a podstacją trakcyjną Radomsko z kabiną sekcijną Gomunice, położoną w odległości 11 360 m od podstacji Gorzkowice. Na stacji Gomunice



Rys. 2. Konfiguracja połączeń elementów sieci trakcyjnej z uszynieniem grupowym na linii dwutorowej

Tabela 1

Wyniki symulacji

	Numer symulacji						
	10	11	12	13	14	15	16
Izw	2096	2248	2003	2229	2014	2246	2040
It	1383	1633	1475	1707	1559	1733	1618
Iz	712	616	528	522	455	513	423
Usl	901	497	813	465	747	399	686
Ut	-178	-24	-10	63	3	85	103
Usl-t	1079	521	823	402	744	314	583

Izw – prąd zwarciovowy mierzony na wyjściu podstacji,

Iz – prąd powrotny poprzez uziom podstacji,

It – prąd powrotny poprzez kable powrotne,

Usl – potencjał konstrukcji wsporczej w miejscu zwarcia izolacji głównej,

Ut – potencjał toru w miejscu zwarcia izolacji głównej,

Usl-t – napięcie między konstrukcją wsporczą a torem w miejscu zwarcia izolacji głównej.

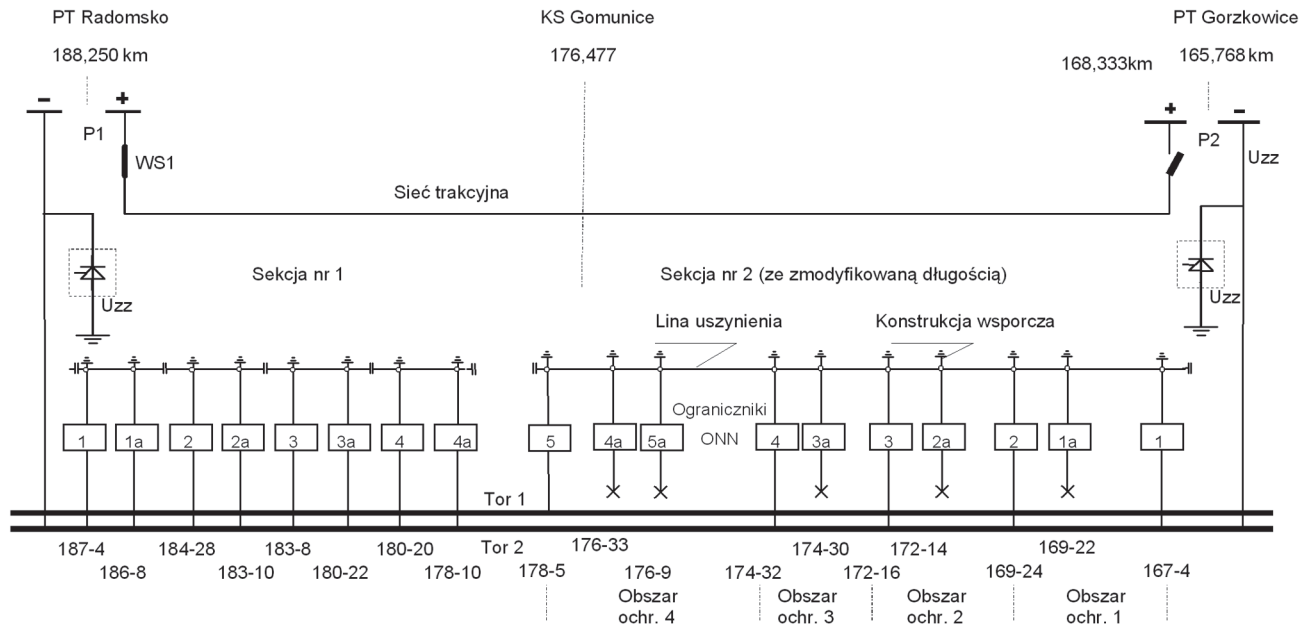
konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej włączone są do systemu uszynień grupowych.

Rezystancja uziomu podstacji PT Radomsko wynosiła 0,16 Ω, podstacji PT Gorzkowice wynosiła 0,16 Ω i kabiny sekcyjnej Gomunice 1,0 Ω. Rezystancja doziemna liny uszynienia zawierała się w granicach 0,29–1,44 Ω.

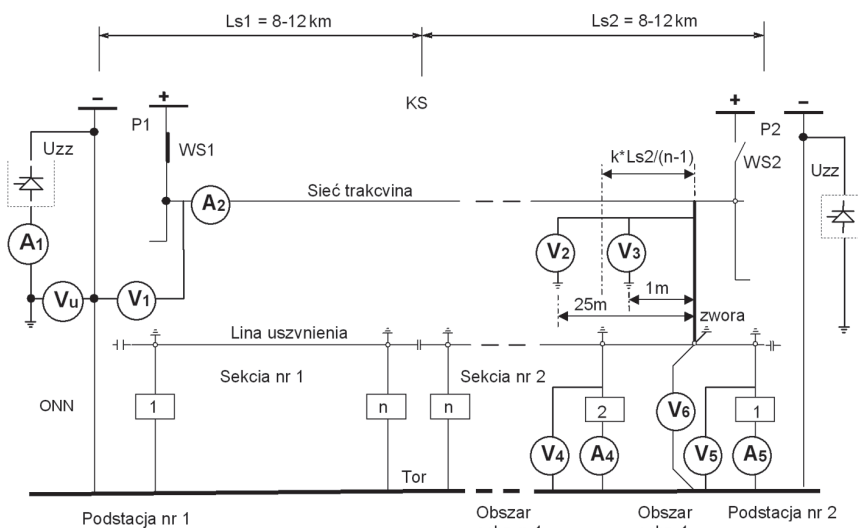
Na szlaku stosowana jest sieć trakcyjna typu Yws C120-2c. Linia jest dwutorowa, wyposażona w samoczynną blokadę liniową typu E z obwodami torowymi 50 Hz. Na obu podstacjach zachowano nastawy wyłączników szybkich, które wynosiły 1600 A. Uproszczony układ połączeń uszynień grupowych na poligonie przedstawiono na rysunku 3.

Wybrany poligon umożliwił przeprowadzenie:

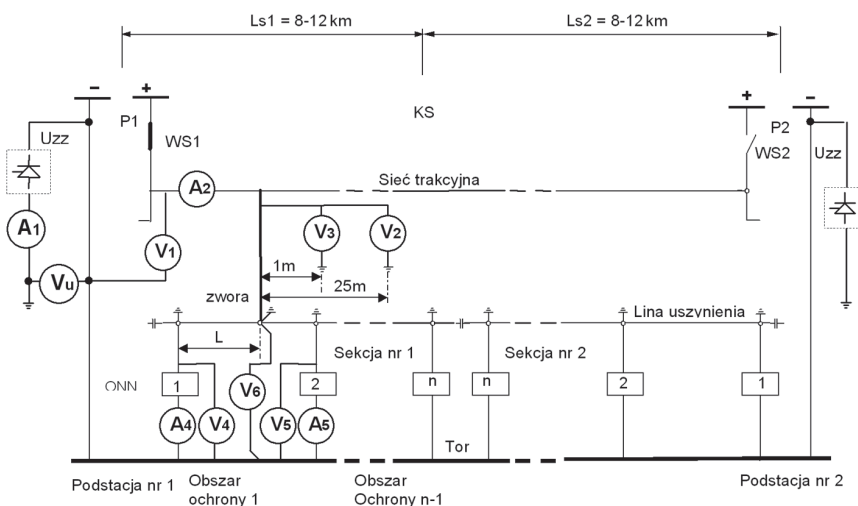
- zwarć izolacji sieci głównej, rejestracji prądów zwarcia i napięć rażeniowych dla sekcji uszynienia grupowego o długościach 8–12 km przy zasilaniu jednostronnym z podstacji trakcyjnej odległej o 12–24 km od miejsca symulowanego zwarcia (zwarcia odległe); układ pomiarowy przedstawiono na rysunku 4;
- zwarć izolacji sieci głównej, rejestracji prądów zwarcia i napięć rażeniowych dla sekcji uszynienia grupowego o długościach 8–12 km przy zasilaniu jednostronnym i dwustronnym z podstacji trakcyjnej odległej o 0–12 km od miejsca symulowanego zwarcia (zwarcia bliskie); układ pomiarowy przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 3. Wyposażenie sekcji uszynienia grupowego ze zmodyfikowaną długością sekcji



Rys. 4. Schemat układu do pomiaru prądu zwarciego i napięć rażeniowych do sprawdzenia wyłączalności odległych zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej



Rys. 5. Schemat układu do pomiaru prądu zwarciego i napięć rażeniowych do sprawdzenia wyłączalności bliskich zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej

Jak wynika ze schematów przedstawionych na rysunkach 4 i 5, rejestrację prądów zwarcia i napięć rażeniowych prowadzono jednocześnie na czterech stanowiskach: na podstacji, w miejscu wykonania zwarcia oraz na końcach obszarów ochrony wyznaczonych przez najbliższe ograniczniki ONN w badanej sekcji.

Wyniki badań

Badania przeprowadzono według harmonogramu, który uwzględniał: dziewięć układów połączeń uszynień grupowych, różne długości obszarów ochrony w sekcji (2739, 5389, 7839, 11039 m) i liczbę obszarów ochrony w sekcji (1 do 4), zasilanie zwarcia przez jeden lub dwa zespoły prostownicze, trzy miejsca zwarcia (1/2, 1/3, 1/4 odległości od końca obszaru ochrony). W ramach harmonogramu wykonano 80 prób zwarciovych, podczas których zarejestrowane wartości prądów i napięć rażeniowych pozwoliły na wytypowanie najkorzystniejszych układów połączeń uszynień grupowych z punktu widzenia ochrony, jak i liczby wykorzystanych ochronników ONN.

Po analizie wyników z 80 prób wytypowano do dalszych badań dwa układy połączeń uszynień grupowych. Pierwszy układ, w którym spełnione były warunki wyłączalności zwarć odległych i dopuszczalnych napięć rażenia dla zwarć bliskich jest układ połączeń sekcji uszynienia grupowego długości 11039 m, podzielony na obszary ochrony o długościach ok. 3 km. Porównując ten układ z układem obecnie eksploatowanym liczbę ograniczników zmniejsza się, np. przy poprzednich 4 sekcjach z 12 do 10, czyli o 16,7% i zlikwidowane są 3 łączniki izolacyjne liny uszynienia. Wyniki rejestracji prądów zwarcia i napięć rażeniowych dla powyższego

układu połączeń uszynień grupowych przedstawiono w tabelicy 2, a na rysunkach 6, 7, 8 i 9 przedstawiono przykładowe oscylogramy próby nr 4, na podstawie których ustalono wartości prądów zwarcia i wartości skuteczne napięć rażeniowych.

Tablica 2

Wyniki pomiarów zwarcia izolacji głównej sieci trakcyjnej do linii uszynień grupowych

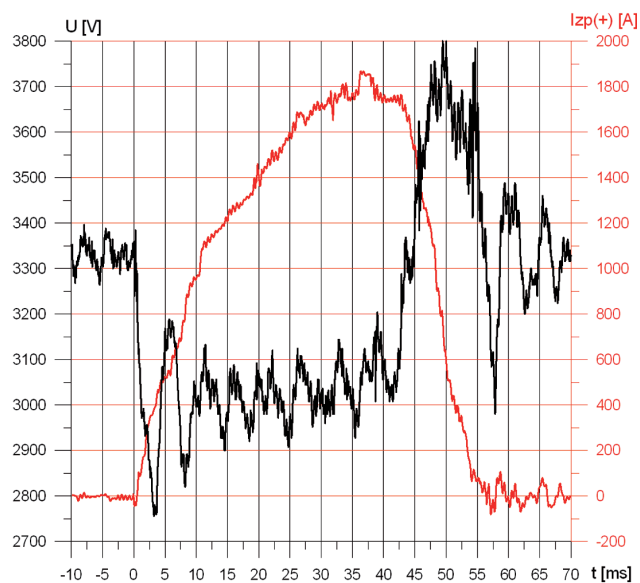
Nr próby	Parametry zmierzone na podstacji trakcyjnej (ST-1)							
	U_{min} [V]	U_{max} [V]	$J_{zpl(+)}$ [A]	dJ/dt [kA/ms]	T_{ws} [ms]	T_{wyl} [ms]	J_{bedn} [A]	U_{Tuz} [V]
04	2756	3800	1893	0,21	30	54	278	21

Nr próby	Parametry zmierzone w miejscu zwarcia (ST-2)				ST-3	ST-4	Uwagi
	J_{zw} [A]	$U_{kw-sz\ max}$ [V]	$U_{kw-z\ 25m}$ [V]	$U_{kw-z\ 1m}$ [V]			
4	1842	305	284	222	768	676	Zwarcie odległe

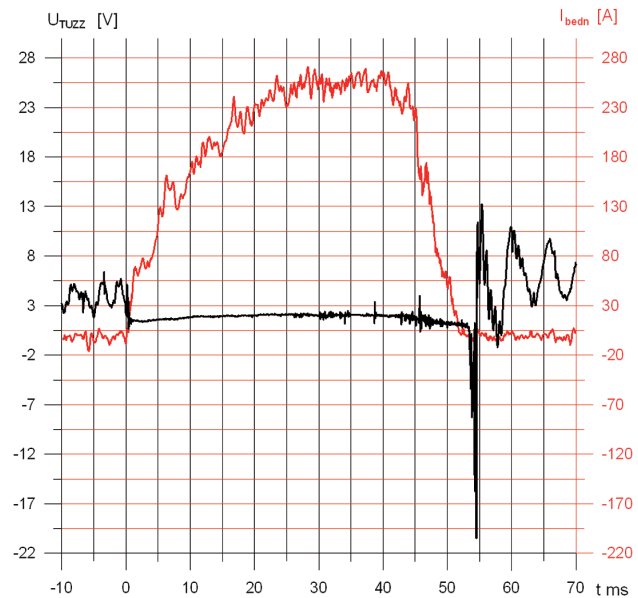
Próba nr 4

Zwarcie do linii uszynień grupowych w lokacie 168-20 w obszarze ochrony między ogranicznikami ONN-1 i ONN-2.

Stanowisko pomiarowe nr 1 na podstacji trakcyjnej Radomsko

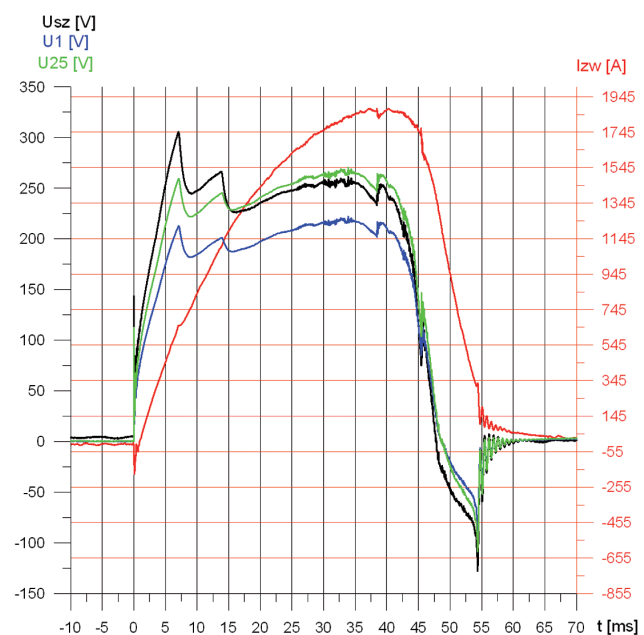


Rys. 6. Oscylogramy prądu zespołu prostowniczego (czerwony), napięcia zespołu prostowniczego (między dławikiem a wyłącznikiem szybkim - czarny)



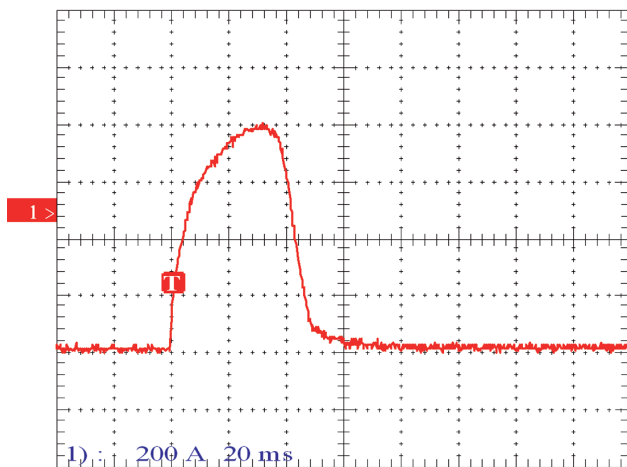
Rys. 7. Prąd zasilacza Gorzkowice 2 – czerwony, prąd powracający uzio- mem podstacji, napięcie między przewodem minusowym a szyną zbiorczą przed wyłącznikiem zapasowym – czarny.

Stanowisko pomiarowe nr 2 w miejscu zwarcia



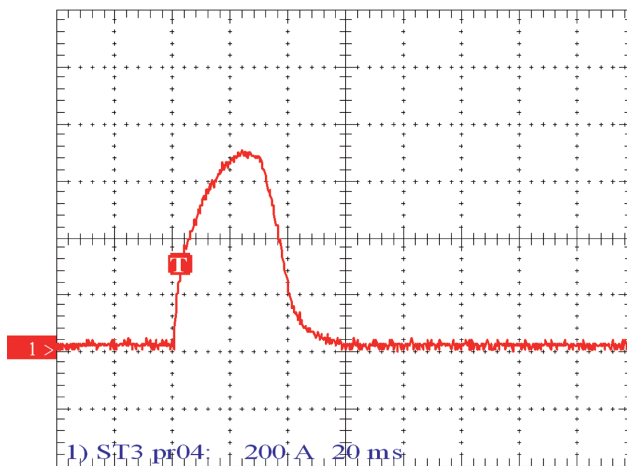
Rys. 8. Oscylogramy prądu zwarciovego (czerwony), napięć rażeniowych między torem a konstrukcją wsporczą (czarny), między ziemią odległą a konstrukcją wsporczą (zielony), między ziemią bliską a konstrukcją wsporczą (niebieski)

Stanowisko pomiarowe nr 3 w lokacie 167-4



Rys. 9. Oscylogram prądu ogranicznika ONN 1

Stanowisko pomiarowe nr 4 przy konstrukcji wsporczej w lokacie 168-20



Rys. 10. Oscylogram prądu ogranicznika ONN 2

W drugim układzie, w którym spełnione były warunki wyłączalności zwarć odległych i dopuszczalnych napięć rażenia dla zwarć bliskich jest układ połączeń sekcji uszynienia grupowego o długości 11,039 km z podziałem na dwa obszary ochrony z obszarem ochronnym o długości 3 km zlokalizowanym od strony podstacji. Porównując ten układ z układem obecnie eksploatowanym liczba ograniczników zmniejsza się np. przy 4 sekcjach z 12 do 6 [o 50%], zlikwidowane są 3 łączniki izolacyjne liny uszynienia. Wyniki rejestracji prądów zwarcia i napięć rażeniowych dla powyższego układu połączeń uszynień grupowych przedstawiono w tabelicy 3, a na rysunkach 10, 11, 12, 13, 14 przedstawiono przykładowe oscylogramy, na podstawie których ustalono wartości prądów zwarcia i wartości skuteczne napięć rażeniowych.

Tablica 3

Wyniki pomiarów zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej do liny uszynienia grupowego

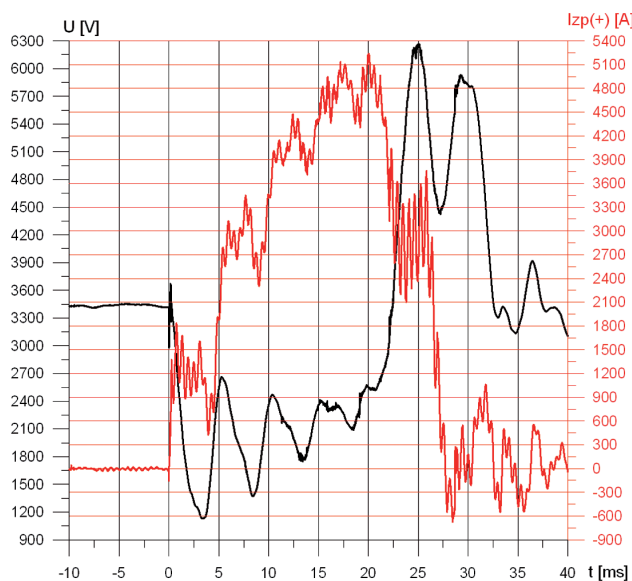
Nr próby	Parametry zmierzone na podstacji trakcyjnej (ST-1)							
	U_{min} [V]	U_{max} [V]	$J_{zp(+)}$ [A]	dJ/dt [kA/ms]	T_{ws} [ms]	T_{wyt} [ms]	J_{bedn} [A]	U_{tuzz} [V]
45	1130	6270	5238	1,39	20	28	28	138
47	1911	5166	5748	1,05	15	25	427	152

Nr próby	Parametry zmierzone w miejscu zwarcia (ST-2)				ST-3	ST-4	Uwagi
	J_{zw} [A]	$U_{kw-sz max}$ [V]	$U_{kw-z 25m}$ [V]	$U_{kw-z 1m}$ [V]			
45	4953	772	760	637	2250	1700	Zwarcie bliskie
47	5315	885	860	720	2700	1800	

Próba nr 45

Zwarcie do liny uszynienia grupowego w lokacie 168-20 w obszarze ochrony między ogranicznikami ONN-1 i ONN-2.

Stanowisko pomiarowe nr 1 na podstacji trakcyjnej Gorzkowice



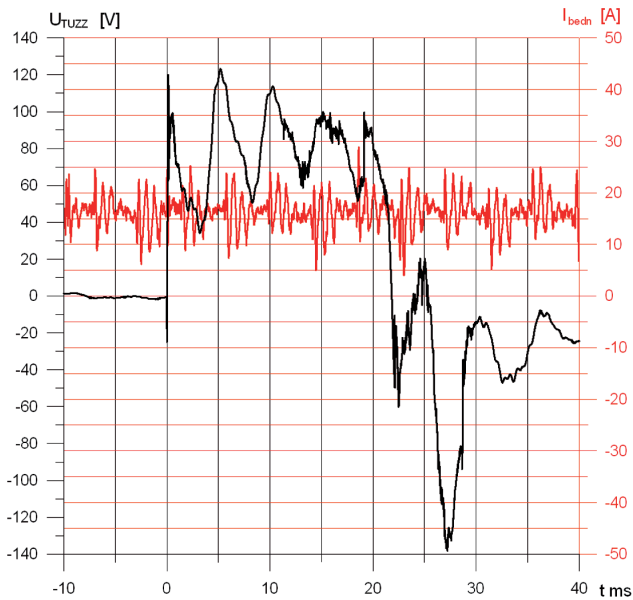
Rys. 11. Oscylogramy prądu zespołu prostowniczego (czerwony), napięcia zespołu prostowniczego (między dławikiem a wyłącznikiem szybkim – czarny)

Wnioski

Poligon do badań nie odzwierciedlał wszystkich przypadków jakie można spotkać w eksploatacji. Uzyskane wyniki badań na tym poligonie należy traktować jako źródło informacji o procesach zachodzących podczas zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej w systemie uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością sekcji.

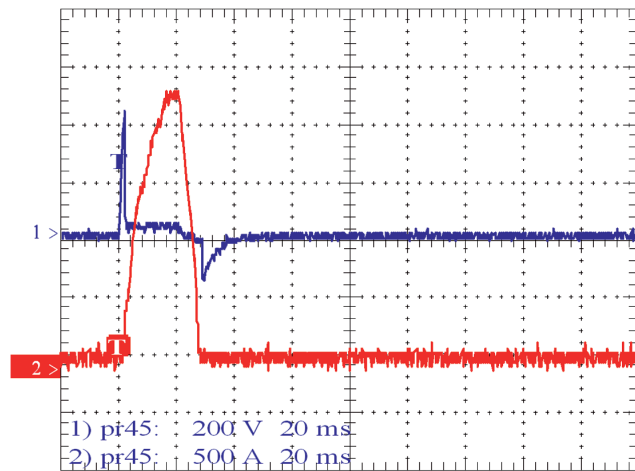
Przedstawione rozwiązania, mimo że spełniają warunek wyłączalności zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej przed wprowadzeniem do eksploatacji wymagają sprawdzenia i potwierdzenia badaniami:

- różnych konfiguracji uszynień;
- różnych stanów normalnej i awaryjnej pracy systemu (np. zerwanie liny uszynienia, przerwa w szynach, uszkodzenie ogranicznika);
- oddziaływania systemu na upływ prądów błądzących;



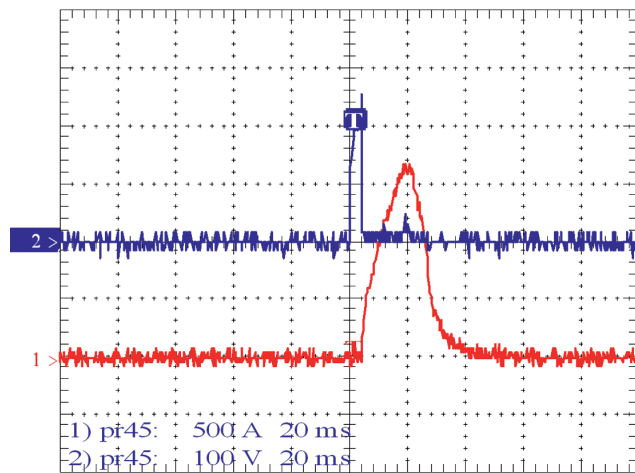
Rys. 12. Prąd zasilacza Gorzkowice 2 – czerwony, prąd powracający uzioziem podstacji, napięcie między przewodem minusowym a szyną zbiorczą przed wyłącznikiem zapasowym – czarny

Stanowisko pomiarowe nr 3 w lokacie 167-4



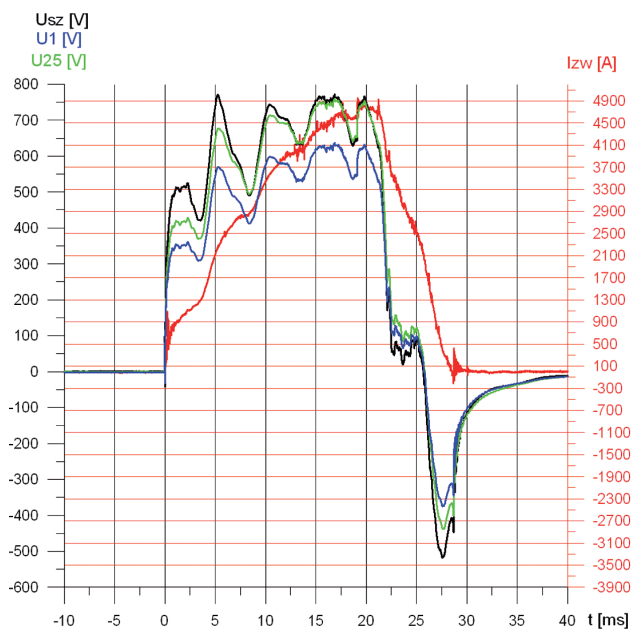
Rys. 14. Oscylogram prądu ogranicznika ONN 1 (czerwony) i napięcia konstrukcja wsporcza ziemia (niebieski)

Stanowisko pomiarowe nr 4 w lokacie 169-24



Rys. 15. Oscylogram prądu ogranicznika ONN 2 (czerwony) i napięcia konstrukcja wsporcza ziemia (niebieski)

Stanowisko pomiarowe nr 2 w miejscu zwarcia



Rys. 13. Oscylogramy prądu zwarcowego (czerwony), napięć rażeniowych między torem a konstrukcją wsporczą (czarny), między ziemią odległą a konstrukcją wsporczą (zielony), między ziemią bliską a konstrukcją wsporczą (niebieski)

- oddziaływania na systemy sterowania i sygnalizacji;
- zasilania podstacji z linii 110 kV;
- ewentualnej możliwości zastosowania w obszarach zbliżeń z liniami kolejowymi zelektryfikowanymi w systemie 25 kV 50 Hz i w pobliżu linii elektroenergetycznych (110 kV, LPN).

Literatura

[1] Białoń A., Furman J., Kazimierczak A.: *Badania systemu uszynień grupowych w układzie otwartym dla linii kolejowych z obwodami torowymi*

ze złączami izolowanymi. Etap 2. Praca CNTK nr 3048/23 Warszawa 2001 r.

[2] PN-EN 50122-1:2002
 [3] Białoń A., Furman J., Kazimierczak A., Gradowski P., Laskowski M.: *Doświadczalne badanie systemu uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością ciągłości elektrycznej (zbliżoną do długości szlaków tj.: 8–12 km). Etap 1 Badania symulacyjne wyłączalności zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej z układem połączeń uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością sekcji. Praca CNTK nr 3568/10 WARSZAWA 2008 r.*
 [4] Białoń A., Furman J., Kazimierczak A., Gradowski P., Laskowski M.: *Doświadczalne badanie systemu uszynień grupowych ze zmodyfikowaną długością ciągłości elektrycznej (zbliżoną do długości szlaków tj.: 8–12 km). Etap 2 Sprawozdanie z badań wyłączalności zwarć izolacji głównej sieci trakcyjnej do uszynień grupowego ze zmodyfikowaną długością sekcji. Praca CNTK nr 3568/10 WARSZAWA 2009 r.*
 [5] <http://www.kolen.pl/dane/pliki/tzd-1n1r.pdf> (2009-07-15)
 [6] Ralph S. Thomas, Walter E. Stinger, Jr.: *Operational and Safety Considerations for Light Rail DC Traction Electrification System Design.*

Nowoczesna trakcja elektryczna Racjonalizacja zużycia energii w transporcie szynowym 29 września – 1 października 2011 r.

Tematyka

- transport miejski i kolejowy – zużycie energii jako parametr eksploatacyjny
- koleje dużych prędkości – koszty zużycia energii jako składnik kosztów systemu
- systemy trakcji elektrycznej – metody modelowania i badań współpracy z pojazdami
- energooszczędne, niekonwencjonalne środki transportu
- zarządzanie energią jako element procesu projektowania pojazdów trakcyjnych
- efektywność wykorzystania energii elektrycznej zwróconej do sieci
- nowoczesne napędy trakcyjne i maszyny elektryczne
- zasobniki energii jako element energooszczędnego napędu.

Organizatorzy

Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu

Politechniki Poznańska Wydział Elektryczny oraz Wydział Maszyn Roboczych i Transportu

Politechnika Warszawska

Politechnika Gdańska

Organizatorzy wystąpili o patronat honorowy do Ministerstw: Infrastruktury, Gospodarki oraz Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Miejsce konferencji

Poznań (Politechnika Poznańska – otwarcie) i hotel Delicjusz w pobliżu Poznania (kontynuacja i zakończenie).

Informacje

tel. +48 61 653 40 01

fax +48 61 653 40 02

➤ *Dokończenie ze s. 48.*

Literatura

- [1] Brzeziński A., Oleksiewicz W., Sambor A., Suchorzewski W.: *Nowoczesny tramwaj – wymagania przy modernizacji*. Transport Miejski, Wydawnictwo SITK nr 1, 2002.
- [2] Doering A., Mueller V.: *Przyspieszenie komunikacji tramwajowej. Doświadczenia z Berlina*. Materiały konferencyjne nt. Transport publiczny w Warszawie, 2005, s. 189–206.
- [3] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu drogowego – teoria i praktyka*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2008.
- [4] Karbowski H.: *Podstawy infrastruktury transportu*. Wydawnictwo WSHE, Łódź, 2009.
- [5] Krych A.: *Szybki i szybszy – ewaluacja idei i aplikacji na przykładzie Poznania*. Materiały konferencyjne nt. Transport publiczny w Warszawie, 2005, ss. 43–60.
- [6] Ostaszewicz J., Rataj M.: *Szybka komunikacja miejska*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1979.
- [7] Podoski J.: *Tramwaj szybki – projektowanie i eksploatacja*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1983.
- [8] Źródło: <http://commons.wikimedia.org>.
- [9] Jacek Wesotowski, źródło: <http://historia.arch.p.lodz.pl/jw37/urbtr/trsh-berlin>.

*mgr inż. Andrzej Gocek
uczestnik studiów doktoranckich na wydziale Elektrotechniki,
Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej
Zakład Transportu i Przetwarzania Energii
w Instytucie Elektroenergetyki PŁ.*

Autor serdecznie dziękuje Panu prof. zw. dr. hab. inż. Henrykowi Karbowskiemu za dyskusję i cenne uwagi do artykułu.