

doi:10.15199/48.2020.12.04

Zestaw Stacji Mobilnej SN/nN z bocznikiem SN wyposażony w synchronizację i automatykę zabezpieczeniową strony SN

Streszczenie. Przedmiotem artykułu jest dwumodułowy zestaw opatentowany przez inżynierów z PGE Dystrybucja O.Lublin. Mobilna stacja transformatorowa - SN/nN o mocy transformatora 630kVA 15/0,4kV, z automatyką zabezpieczeniową oraz synchronizacją strony SN przeznaczoną do zasilania sieci dystrybucyjnej średniego napięcia za pomocą agregatu prądowórczego niskiego napięcia. Bocznik - zabudowany jest w lekkiej obudowie metalowej, wyposażonej w rozdzielnicę SN i rozdzielnicę potrzeb własnych, posadowiony na płozach z uchwytem transportowym.

Abstract. The subject of the article is a two-module set, patented by engineers from PGE Dystrybucja Lublin Branch. The MV/LV mobile transformer station with a transformer power of 630 kVA 15/0.4 kV, with automatic protection and MV side synchronization is intended for supplying medium voltage distribution networks by means of a low voltage power generator. The shunt is built in a light metal housing, equipped with a MV switchgear and a switchgear for own needs, mounted on skids with a transport handle. (MV/LV Mobile Station Set with MV shunt equipped with synchronization and MV side automation).

Słowa kluczowe: mobilna stacja transformatorowa, zasilanie bezprzerwowe, synchronizacja napięcia, układ awaryjnego zasilania.

Keywords: mobile transformer station, uninterruptible power supply, voltage synchronization, emergency power supply system, shunt.

Wstęp

Na Lubelskich Tragach Energetycznych ENERGETICS 2019 Rejon Energetyczny Lublin-Miasto zaprezentował swój najnowszy, opatentowany Zestaw Stacji Mobilnej SN/nN z bocznikiem SN. Energetyka Lubelska od wielu lat prowadzi prace z zastosowaniem mobilnych stacji transformatorowych, które na przestrzeni lat ulegały modyfikacjom i zmieniały swoją funkcjonalność. Pierwszą stacją mobilną wprowadzono do eksploatacji w latach 70-tych. Początkowo przystosowana była do pracy bezpośrednio pod linią SN – zasilanie napowietrzne. Następnie przystosowano ją do podłączania kabli SN i służyła do zasilania odbiorców na poziomie niskiego napięcia w czasie remontów stacji transformatorowych. Kolejnym etapem był projekt i wykonanie stacji przewoźnej SN i nN, która została przyjęta do eksploatacji w październiku 2015 roku. Stację wyposażono w nowoczesną rozdzielnicę SN, nN oraz transformator przełączający 10/15/0,4kV o mocy 400kVA. Stacją mobilną zaprezentowaną na targach ENERGETICS 2015 wzbudziła duże zainteresowanie. Rok później zespół lubelski zmodernizował urządzenie poprzez zamontowanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych i napięciowych umożliwiających zasilanie sieci SN z agregatu prądowórczego. W 2017 roku narodził się pomysł stworzenia modułowego systemu umożliwiającego **bezprzerwowe zasilanie odbiorców** na sieci średniego napięcia. Zebrane doświadczenia umożliwiły stworzenie, opatentowanie i wdrożenie w marcu 2019 roku systemu stacji mobilnej (fot.1) uzupełnionej bocznikiem SN (fot.2).



Fot.1. Mobilna stacja transformatorowa z synchronizacją 15 kV PGE Dystrybucja 2019

Warunkiem bezprzerwowego zasilania odbiorców jest konieczność podpięcia zestawu do czynnej sieci SN. W tym celu opracowano nowe metody „Prac Pod Napięciem” na sieci SN 15kV, które umożliwiają podpięcie przewodów ze stacji mobilnej i bocznika do czynnej linii SN [3,7,8,19].



Fot.2. Bocznik SN z synchronizacją 15 kV PGE Dystrybucja 2019

W tematyce bezprzerwowego zasilania odbiorców nastąpił tym samym znaczący rozwój. Pierwsze informacje dotyczące układów zasilania bezprzerwowego odnajdujemy na początku lat 90-tych. Były to jednak urządzenia stosunkowo małej mocy japońskiej marki Fuji. W roku 1992 Zakład Automatyki i Systemów Elektroenergetycznych REFA w Świebodzicach obecnie Schneider Electric opatentował: „Sposób i układ do przelączania elektroenergetycznych linii zasilających”. Wynalazek pozwalał na zachowania ciągłości zasilania odbiorców poprzez przelączanie obwodów z jednej linii zasilającej na drugą, gwarantując przy tym prawidłowość parametrów. Rozwiązanie nie umożliwilo niestety zasilania odbiorców z wykorzystaniem agregatów prądowórczych. Mocno ograniczona funkcjonalność wynikała również z konieczności lokalizacji urządzenia w bliskim sąsiedztwie dwóch linii SN [2,17].

Innym rozwiązaniem, które uwzględniło wykorzystanie agregatu prądowórczego jest „Mobilny Układ Zasilający” w skrócie MUZ, skonstruowany i opatentowany przez inżynierów z grupy Tauron w roku 2016 [2,15,16,18]. Główna idea urządzeń konstrukcji Tauron i PGE Dystrybucja jest taka sama i polega na zasilaniu sieci średniego napięcia z mobilnych agregatów prądowórczych. Oba zestawy są mobilne co daje dużą elastyczność wyboru miejsca przyłączenia do sieci. Ogromna przewaga Zestawu

Stacji Mobilnej SN/nN z bocznikiem SN wynika z możliwości bezprzerwowego zasilania odbiorców podczas podłączania i odłączania urządzeń od sieci podczas gdy MUZ daje możliwość tylko bezprzerwowego podłączenia. W celu odłączenia od sieci konieczny jest zanik napięcia co jest niewątpliwie dużym problemem. Konstrukcja samej stacji jest bardziej zwarta a zastosowanie lekkiego bocznika na płozach daje niemalże pewność zastosowania w każdych warunkach terenowych [11,12,15,16].

1. Charakterystyka modułów zestawu:

1.1. Stacja transformatorowa

Stacja transformatorowa wykonana jest w obudowie metalowej i posadowiona na podwoziu jezdnym. Całość ma gabaryty: wysokość 3,15m, szerokość 2,25m, całkowita długość wraz z dyszlem 4,45m. Rozdzielnice SN i nN skonstruowane są jako oddzielne elementy stacji, a dostęp do części SN oraz przedziałów kablowych zapewniony poprzez żaluzje aluminiowe. Transformator zamontowany jest na stałe w sposób umożliwiający jego wymianę. Stacja posiada 2 komplety kabli SN, ekranowanych z żyłą powrotną, wykonanych w technologii silikonowej z żyłą roboczą miedzianą o długość 25m każdy, a także dwa kable uziemiające w izolacji silikonowej. Podwozie pod stację transformatorową wykonane jest ze stali konstrukcyjnej o podwyższonej wytrzymałości, dzięki temu cały zestaw jest niezwykle wytrzymały- DMC 6,4T. Ponadto posiada 2 osie z mechanizmem hamującym, systemem ABS oraz dyszel o regulowanym kącie podpięcia [11,19].

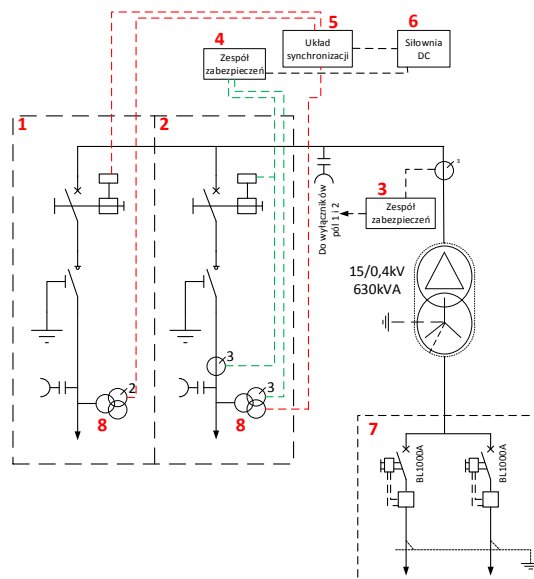
Parametry techniczne stacji:

- Nominalne napięcie znamionowe SN – 24 kV
- Prąd znamionowy SN – 200 A
- Napięcie znamionowe nn – 420 V
- Prąd znamionowy nn – 910 A
- Moc transformatora – 630 kVA
- Stopień ochrony obudowy – IP43

Po stronie średniego napięcia rozdzielnica posiada 2 pola wyłącznikowe oraz możliwość podpięcia kabla zasilającego transformator bezpośrednio z mostu szynowego poprzez przepust w pełni izolowany. Pola umożliwiają podpięcie kabli SN. Wyposażone są w pomiar napięcia dla potrzeb synchronizacji, a dodatkowo pole nr 2 posiada sensory prądowe. Pole SN nr 1 (synchronizacyjne) zapewnia automatyczną synchronizację napięciową do pola nr 2 po załączeniu funkcji przez obsługę i ręcznym zabrojeniu napędu wyłącznika. Pole SN nr 2 (zasilające) posiada zabezpieczenia wyspowej pracy sieci: nadprądowe, ziemnozwarciowe, nadnapięciowe, podnapięciowe, częstotliwościowe. Oba pola posiadają wyłączniki z napędem ręcznym oraz cewkami zamykającą i otwierającą o napięciu sterowniczym 24V DC. W polu transformatorowym zasilanym bezpośrednio z mostu szynowego rozdzielnicy SN zastosowane jest zabezpieczenie autonomiczne z przekładnikami i sygnalizacją zadziałania. Zadziałanie w/w zabezpieczenia wyłącza jednocześnie wyłączniki w polach nr 1 i 2 rozdzielnicy SN. Szafka obwodów wtórnych z zabezpieczeniem cyfrowym a także przełącznikiem kontroli synchronizmu umiejscowiona jest obok rozdzielnicy SN. W niej znajduje się siłownia DC z funkcją ładowania akumulatora z zewnętrznego źródła 230V AC [1,5,6,13,14].

Logikę pracy układu synchronizacji przedstawia rysunek nr 1. Proces synchronizacji rozpoczyna się w momencie podania napięć pomiarowych do układu automatyki z przekładników napięciowych pola synchronizacyjnego i zasilającego. Zadanie sygnału sterującego przez obsługę inicjuje proces synchronizacji. Następuje sprawdzenie przez automatykę warunków synchronizacji tj.: poziom napięć, częstotliwość, a także kąt przesunięcia fazowego między

napięciami pola synchronizacyjnego i pola zasilającego. W odpowiednim czasie automatycznie załączany jest wyłącznik w polu synchronizacyjnym do pracy równoległej z siecią dystrybucyjną SN. Ostatnią czynnością jest wyłączenie wyłącznika głównego w rozdzielnicy nN i odstawienie agregatu prądotwórczego [1,2,3,4].



Rys.1. Schemat układu synchronizacji stacji:

1-pole synchronizacji, 2-pole zasilania (zabezpieczeń napięciowych ziemnozwarciowych, nadprądowych i częstotliwościowych), 3 - autonomiczne zabezpieczenie nadprądowe transformatora, 4 - zespół zabezpieczeń prądowych, napięciowych i częstotliwościowych, 5 - układ synchronizacji i kontroli kolejności faz, 6 - zespół zasilania potrzeb własnych, wskaźniki napięć, rozdzielnica napięcia gwarantowanego DC, 7 - rozdzielnica nN, pole agregatu i pole dodatkowe, 8 - przekładniki napięciowe SN [12,13]

Po stronie niskiego napięcia stacja posiada rozdzielnicę nN w wykonaniu modułowym. W jej skład wchodzi dwa pola odpływowe wyposażone w wyłączniki kompaktowe 1000A. Rozdzielnica przystosowana jest do podłączenia agregatu za pośrednictwem złącza typu POWERLOCK [11].

1.2. Bocznik SN

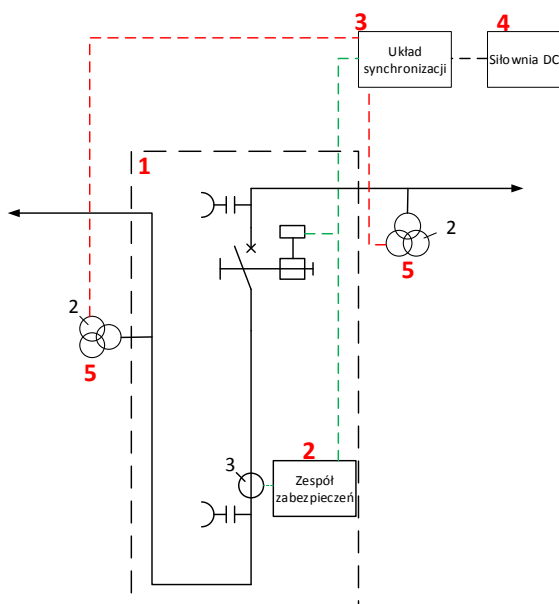
Bocznik zbudowany jest jako kontener z aluminium, posadowiony na integralnych płozach. Jego gabaryty wynoszą: wysokość 2,35 m, szerokość 1 m, długość 1,25m. Waga z wyposażeniem nie przekracza 400kg. Przestrzeń kontenera posiada wydzielone przedziały przyłączeniowe po lewej i prawej stronie, a także przedział środkowy dla rozdzielnicy SN. Dostęp dla obsługi realizowany jest za pomocą drzwi metalowych. W przedziałach przyłączonych znajdują się takie same 2 komplety silikonowych kabli SN oraz 2 komplety kabli uziemiających co w stacji mobilnej. Siłownia 24V DC z możliwością ładowania ze źródła 12V DC zlokalizowana jest w szafce obwodów wtórnych [11,19].

Parametry techniczne bocznika SN:

- Napięcie znamionowe SN – 17,5 kV
- Prąd znamionowy SN – 200 A
- Napięcie sterownicze – 24 V DC
- Stopień ochrony obudowy – IP44

W boczniku zamontowana jest 1 polowa rozdzielnica średniego napięcia z przepustami w pełni izolowanymi. Pole to zapewnia automatyczną synchronizację napięciową pomiędzy polami przyłączeniowymi po załączeniu funkcji przez obsługę. Po obu stronach bocznika znajdują się pola przyłączeniowe, każde z nich wyposażone w pomiar napięcia z

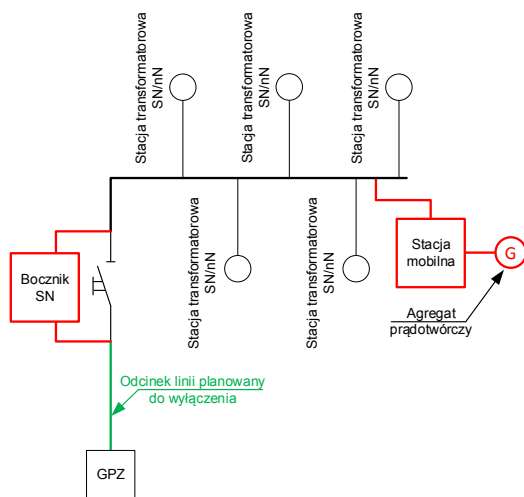
przekładników współpracujących z synchronizatorem. Pole rozdzielnic SN wyposażone jest w wyłącznik z napędem ręcznym, cewki zamykającą i otwierającą o napięciu sterowniczym 24V DC oraz autonomiczne zabezpieczenie nadprądowe. Logika pracy układu synchronizacji bocznika jest analogiczna jak w stacji i przedstawiona na rysunku nr 2 [1,4,6,13,14].



Rys.2. Schemat układu synchronizacji bocznika:
1-pole wyłącznika SN - moduł wysuwny tworzący widoczną przerwę izolacyjną, 2-autonomiczne zabezpieczenie nadprądowe, 3 - układ synchronizacji i kontroli kolejności faz, 4 - zespół zasilania potrzeb własnych, wskaźniki napięć, rozdzielnica napięcia gwarantowanego DC, 5 - przekładniki napięciowe SN [12,13]

2. Funkcjonalność zestawu stacji mobilnej z bocznikiem SN

2.1. Zasilanie odbiorców w przypadku konieczności planowego wyłączenia trzonu linii głównej – z trudnym dostępem do łącznika



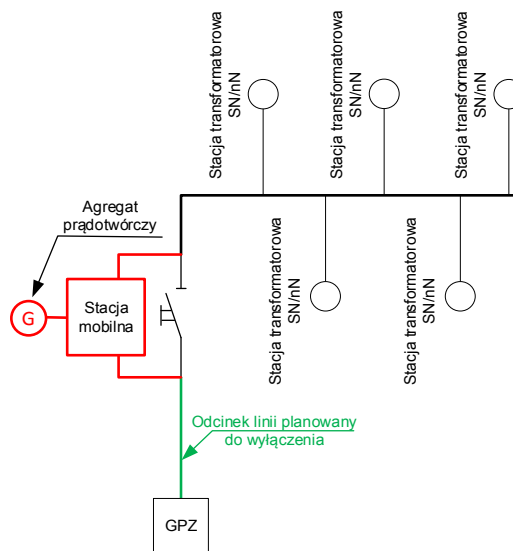
Rys.3. Wykorzystanie stacji mobilnej i bocznika SN do bezprzerwowego zasilania odbiorców w sytuacji braku dostępu do stanowiska z łącznikiem SN

Na powyższym schemacie (rys.3) oznaczono kolorem zielonym odcinek linii głównej SN przewidziany do wyłączenia w celu dokonania planowanych prac eksploatacyjnych lub inwestycyjnych. Układ sieci uniemożliwia dojazd zestawem stacji mobilnej z agregatem pod stanowisko łącznika w trzonie linii (złe warunki

terenowe). W związku z powyższym w celu bezprzerwowego zasilania odbiorców oraz bezprzerwowego powrotu do zasilania z sieci dystrybucyjnej konieczne jest ustawienie stacji mobilnej wraz z agregatem prądowłórczym w miejscu dogodnym, umożliwiającym podłączenie stacji do linii i bezpieczne pozostawienie zestawu w czasie pracy (np. parking w pobliżu linii). Po podłączeniu stacji do linii SN w technologii PPN synchronizowany jest zestaw do pracy równoległej wykorzystując do tego układ synchronizacji generatora. Po otwarciu łącznika w trzonie głównej linii, zestaw stacji mobilnej bezprzerwowo przejmuje obciążenie odbiorców. Odcinek linii przewidziany do wyłączenia może być pozabawiony napięcia. Po zakończeniu prac i podaniu napięcia na otwarty łącznik od strony punktu zasilania, instalujemy lekki bocznik pod stanowiskiem łącznika który zostaje obustronnie podłączony do linii w technologii PPN. Za pomocą automatyki bocznika następuje synchronizacja napięcia zasilanego ze stacji mobilnej do napięcia trzonu linii głównej zasilanej z GPZ i załączenie wyłącznika. W tym momencie możliwe jest ręczne zamknięcie łącznika w trzonie linii głównej, demontaż bocznika i odstawienie stacji mobilnej wraz z agregatem. Odbiorcy bez zaniku napięcia zostają zasileni z sieci dystrybucyjnej (od GPZ) [9,10].

Wykorzystanie lekkiego bocznika w zestawieniu ze stacją mobilną jest zasadne w przypadkach, gdy stanowisko łącznikowe zlokalizowane jest w miejscu trudnodostępnym np. pole orne, pochyłości terenu, tereny podmokłe, gdzie nie jest możliwy dojazd stacją i agregatem, a możliwe jest przetransportowanie niewielkiego bocznika (400kg) np. samochodem terenowym lub na płozach za pomocą koparki [11,12].

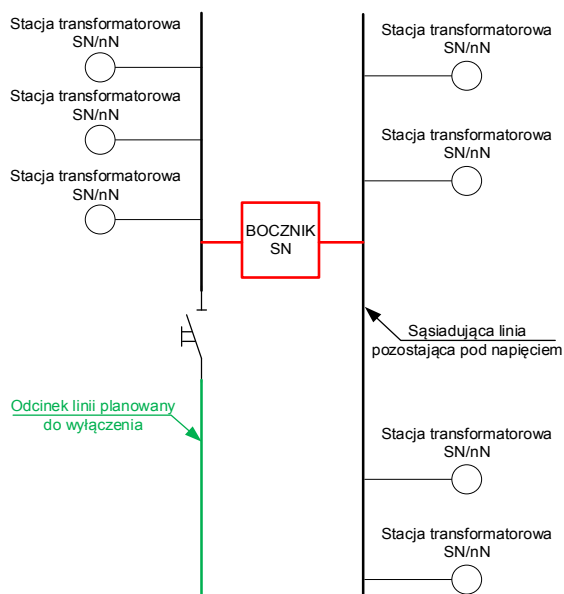
2.2. Zasilanie odbiorców w przypadku konieczności planowego wyłączenia trzonu linii głównej – z zastosowaniem tylko stacji mobilnej



Rys.4. Wykorzystanie stacji mobilnej do bezprzerwowego zasilania odbiorców w sytuacji dostępu do stanowiska z łącznikiem SN

W przedstawionym na rysunku 4 przypadku ustawienie stacji mobilnej i agregatu pod stanowiskiem łącznika jest możliwe. W tym przypadku z zastosowaniem automatyki stacji możliwa jest synchronizacja zarówno przy załączeniu pracy wyspowej jak i powrocie do zasilania z sieci dystrybucyjnej przy braku przerw w dostawie energii dla odbiorców [9,10,11,12].

2.3. Połączenie czynnej linii SN przebiegającej w pobliżu linii, której część uległa uszkodzeniu lub przewidziana jest do wyłączenia



Rys.5. Synchronizacja linii SN przy użyciu bocznika SN

W przedstawionym na rysunku 5 przypadku dwie niepowiązane linie napowietrzne SN 15kV przebiegają w niewielkiej odległości obok siebie. Konieczność wyłączenia odcinka linii lub jego awaria (kolor zielony) uniemożliwia zasilanie odbiorców z pozostałej części linii. Przedstawione rozwiązanie pozwala na zasilenie odcinka linii, który pozostałby bez napięcia, z czynnej linii SN bez konieczności jej wyłączenia – przy zastosowaniu bocznika podłączanego w technologii PPN. Zastosowanie innowacyjnego bocznika SN wraz z technologią PPN umożliwia spinanie linii SN bez konieczności wyłączenia napięcia [9,10,11,12].

Wnioski

Przedstawiony w artykule „Zestaw Stacji Mobilnej z Bocznikiem SN” skonstruowany w PGE Dystrybucja jest pierwszym w Polsce rozwiązaniem, które umożliwia prowadzenie prac eksploatacyjnych, inwestycyjnych lub naprawczych na sieciach SN bez zaniku napięcia dla odbiorców. Istotą opatentowanego zestawu są rozwiązania pozwalające na synchronizację pierwotną a także wtórną. Pola SN wyposażone są w przekładniki napięciowe połączone z układem synchronizacji i zabezpieczeń. Całość wspomagana jest przez moduł kontroli kierunku wirowania faz pomiędzy stronami przełączeniowymi. Rozwiązania zaproponowane przez zespół inżynierów z Lublina znacząco wyprzedają dostępne na rynku rozwiązania. Opisany we wstępie MUZ ma możliwość synchronizacji jedynie pierwotnej, a więc w momencie przejmowania obciążenia. Brak synchronizacji wtórnej skutkuje zanikiem napięcia dla odbiorców podczas powrotu do zasilania z sieci dystrybucyjnej. Wykonanie Mobilnej Stacji Transformatorowej jako kompaktowego urządzenia w zamkniętej obudowie podnosi bezpieczeństwo użytkownika co więcej zmniejsza jej rozmiary. Dodatkowo ułatwia manewrowanie w terenie. Rozwiązanie zespołu Grupy Tauron ma większą kubaturę, gabaryty przyczepy uniemożliwiają dojazd i zainstalowanie MUZ w miejscach trudnodostępnych co ogranicza zastosowanie całego zestawu. Prezentowany bocznik SN posiada taką samą funkcjonalność w zakresie synchronizacji i bezprzerwowego

łączenia co stacja transformatorowa. Dzięki temu możliwe jest wykorzystanie bocznika jako niezależnego urządzenia. W połączeniu z niewielką kubaturą, wagą 400kg i zainstalowanymi płozami daje niemalże pewność zastosowania w każdym terenie. Zaprezentowany w artykule zestaw jest owocem 50-letniego doświadczenia w stosowaniu mobilnych stacji transformatorowych oraz wyciągniętych wniosków z wcześniejszych konstrukcji. Całość rozwiązań zarówno konstrukcyjnych jak i funkcjonalnych została sprawdzona w terenie. Prace które przeprowadzono na czynnych liniach potwierdziły słuszność zastosowanych rozwiązań [12,13].

Autorzy: dr hab. inż. Janusz Partyka, prof. nadzw. PL, Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć ul. Nadbystrzycka 39 a, 20-618 Lublin, E-mail: j.partyka@pollub.pl;
mgr inż. Sławomir Durak PGE Dystrybucja S.A. Oddział Lublin ul. Garbarska 21a, 20-340 Lublin, E-mail: Sławomir.Durak@pgedystrybucja.pl
mgr inż. Mariusz Gustaw PGE Dystrybucja S.A. Oddział Lublin ul. Garbarska 21a, 20-340 Lublin, E-mail: Mariusz.Gustaw@pgedystrybucja.pl

LITERATURA

- [1] Kacejko P, Machowski J, Kowalik R., Zwarcia w systemach elektroenergetycznych, 2nd ed. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (2009), ISBN 978-83-204-3583-2
- [2] Machowski J, Kacejko P, Miller P., Przywracanie zdolności przesyłowej sieci po ruchowym lub awaryjnym odstawieniu linii, Rynek Energii, (2012) Nr 4(101), 28–37
- [3] Miller P., Synchroniczne i asynchroniczne operacje łączeniowe w systemie elektroenergetycznym, Politechnika Lubelska, Lublin, (2013), ISBN 978-83-63569-73-0
- [4] Machowski J, Kacejko P., Udary prądowe przy zamykaniu układów pierścieniowych sieci przesyłowej, Przegląd Elektrotechniczny, (2011) R. 87, Nr 8, 114–120
- [5] Musiał E., Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach zasilanych z zespołów prądowców spalnowo-elektrycznych, INPE, nr. 170-171, s.3-31 grudzień 213
- [6] Karbowa K., Wnukowska B., Środki ochrony przeciwporażeniowej jednostek wytwórczych, elektro.info 4/2018 | 18.05.2018
- [7] Wiatr J., Uproszczony projekt tymczasowego zasilania osiedla mieszkaniowego z wykorzystaniem mobilnego zespołu prądowców, elektro.info 1-2/2017
- [8] Kuczyński K., Wiatr J., Zastosowanie zespołów prądowców do awaryjnego zasilania elektroenergetycznych linii niskiego napięcia, Przegląd Elektrotechniczny, 92 (2016), no. 8, 102-104
- [9] Instrukcja ruchu i eksploatacji agregatów niestacjonarnych, PGE Dystrybucja, Lublin 2017
- [10] Instrukcja organizacji i wykonywania prac pod napięciem w sieci dystrybucyjnej o napięciu powyżej 1 kV do 30 kV, PGE Dystrybucja, Lublin 2016
- [11] Stacja transformatorowa mobilna typu STLm-mobile, Dokumentacja techniczno-ruchowa, Lublin 2019
- [12] Bocznik synchronizujący, Dokumentacja techniczno-ruchowa, Lublin 2019
- [13] PN-EN 50110 -1: 2005(U) Eksploatacja urządzeń elektrycznych
- [14] N SEP-E-004 Wydanie II Elektroenergetyczne i sygnalizacyjne linie kablowe. Projektowanie i budowa
- [15] Opis patentowy nr PL 232628, Mobilne urządzenie zasilające średniego napięcia, Tauron, 2016
- [16] Opis patentowy nr PL 232883, Układ mobilnego urządzenia zasilającego średniego napięcia, Tauron, 2016
- [17] Opis patentowy nr PL 168063, Sposób i układ do przełączania elektroenergetycznych linii zasilających, REFA, Świebodzice, 1992
- [18] <https://www.tauron-dystrybucja.pl/o-spolce/innowacje-tauron/mobilne-urządzenie-zasilajace>
- [19] <https://pgedystrybucja.pl/o-spolce/aktualnosci/Centrala/mobilna-stacja-transformatorowa-pge-dystrybucja-skroci-przerwy-w-dostawach-energii-elektrycznej-podczas-awarii>