

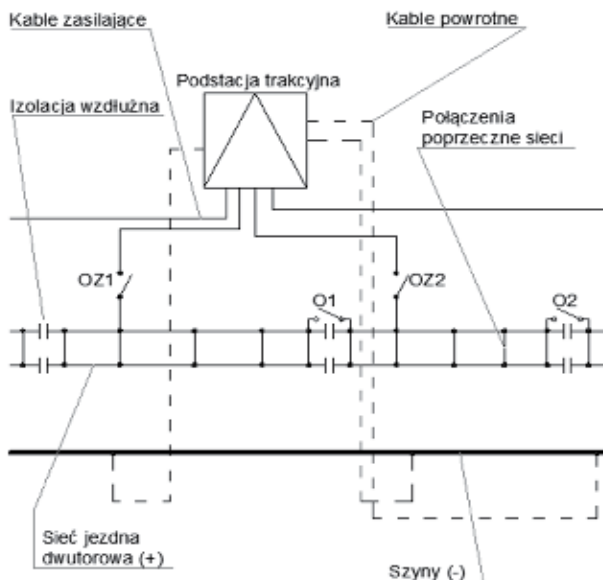
Ireneusz Chrabąszcz, Janusz Prusak, Marcin Stecyk

Rozkład obciążeń zasilaczy sieci trakcyjnej tramwajowej przy zmienionej konfiguracji zasilania

W niniejszym artykule skrótkowo omówiono sposoby zasilania sieci trakcyjnej. Następnie zaprezentowano niektóre wyniki badań symulacyjnych, związanych z analizą obciążeń kabli zasilających sieć trakcyjną tramwajową z wybranej podstacji. Do badań wzięto istniejący odcinek linii tramwajowej. Badania symulacyjne przeprowadzono dla warunków rzeczywistych (profilu trasy, lokalizacji przystanków i rozkładu jazdy tramwajów), które porównano z wynikami uzyskanymi po przeprowadzeniu teoretycznej zmiany w układzie, polegającej na zasilaniu połączonych sąsiednich odcinków 2 kablami (zasilanie „dwustronne”). W badaniach uwzględniono również przypadek zakłócenia rozkładu jazdy (zagęszczony ruch tramwajów).

W zasilaniu trakcyjnych sieci jezdnych stosuje się różne konfiguracje połączeń sieci oraz sposoby ich zasilania. Ze względu na sposób zasilania odbiorów trakcyjnych można wyróżnić zasilanie jednostronne, dwustronne oraz dwustronne z kabiną sekcijną.

Najczęściej stosowanym układem zasilania pojazdów w trakcji tramwajowej jest układ zasilania jednostronnego (UZJ). W UZJ każda podstacja trakcyjna ma wydzielony własny obszar zasilania, podzielony na dzielnice zasilania [4], które nie są ze sobą galwanicznie połączone. Odizolowanie sieci jezdnych sąsiednich dzielnic jest realizowane przy pomocy izolatorów sekcyjnych zamontowanych na przewodach sieci jezdnej. Do każdej dzielnicy (sekcji) doprowadzana jest energia elektryczna przy pomocy oddzielnych zasilaczy (kabli zasilających), prowadzonych od podstacji trakcyjnej. Sieć szynowa stanowi obwód powrotny i jest połączona w 1 ciąg, do którego podłączone są kable powrotne [6].



Rys. 1. Schemat połączenia podstacji trakcyjnej tramwajowej systemu prądu stałego gdzie: OZ – odłącznik zasilania; O1, O2 – odłączniki sekcyjne [6]

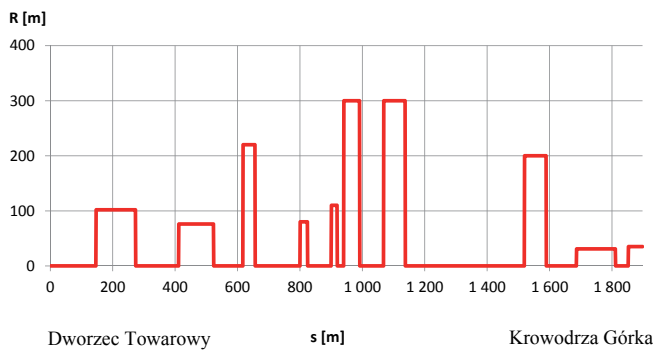
Podział sieci jezdnej na odcinki zasilania (dzielnice) umożliwia w stanach awaryjnych odłączenie konkretnego odcinka sieci w celu bezpiecznego usunięcia zaistniałego problemu lub też odłączenie uszkodzonego zasilacza, połączenie przy pomocy odłącznika sekcyjnego 2 odcinków sieci i zasilanie obydwu odcinków tymczasowo z drugiego zasilacza. UZJ charakteryzuje to, że dostarcza prąd do wszystkich pojazdów znajdujących się na danym odcinku zasilania poprzez 1 podłączony do tego odcinka zasilacz. Na rys. 1 przedstawiony został typowy schemat połączenia podstacji trakcyjnej tramwajowej z siecią trakcyjną [6].

W trakcji kolejowej prądu stałego stosowane są najczęściej dwustronne układy zasilania, przy czym rzadkością jest zasilanie jednostronne. Dwustronny układ zasilania na liniach kolejowych oznacza doprowadzenie energii elektrycznej do odcinka zasilanej trasy poprzez 2 zasilacze z oddzielnych (sąsiednich) podstacji trakcyjnych. Na liniach kolejowych 2-torowych pomiędzy podstacjami stosowany jest zazwyczaj układ zasilania dwustronnego z tzw. kabiną sekcijną. Układ z kabiną sekcijną ma większą pewność działania oraz powoduje zmniejszenie spadków napięcia w sieci trakcyjnej [5–7]. Układ zasilania dwustronnego bez kabiny sekcyjnej stosowany jest najczęściej przy zasilaniu pojazdów metra.

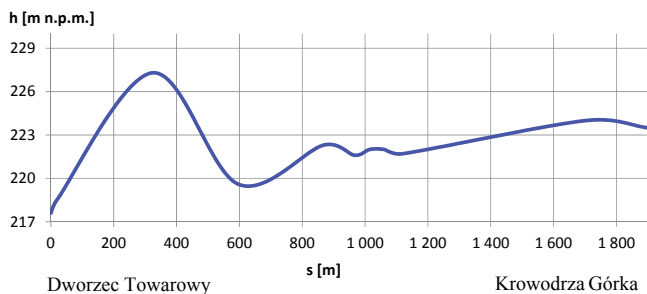
Nawiązując do powyższego, pojawia się pytanie, czy w trakcji tramwajowej celowe byłoby zastosowanie (choćby dla wybranych przypadków) zasilania dwustronnego lub dokonania takiej modyfikacji układu zasilania, w efekcie której miałby on cechy zasilania dwustronnego. W ramach przeprowadzonych badań teoretycznych – dotyczących rzeczywistego odcinka trasy tramwajowej – podjęto się próby odpowiedzi na tak postawione pytanie.



Rys. 2. Tok postępowania przy wykonywaniu badań
Źródło: oprac. własne.



Rys. 3. Wielkości promieni łuków analizowanego odcinka trasy
Źródło: oprac. własne.



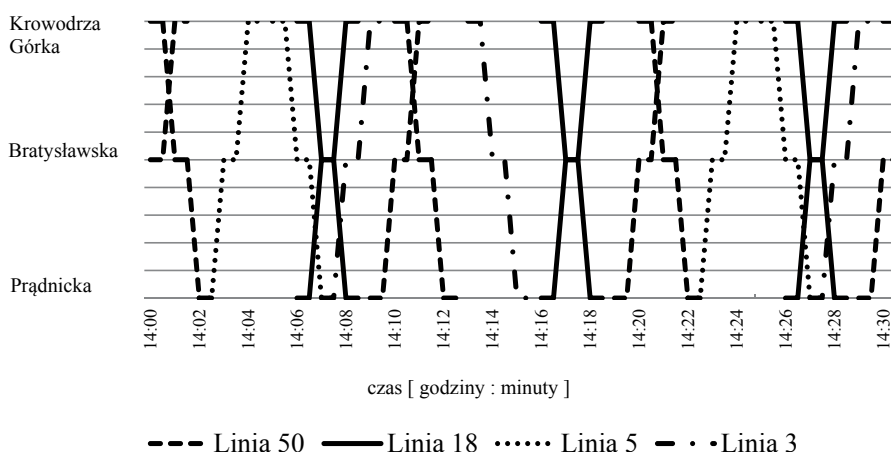
Rys. 4. Profil pionowy trasy Dworzec Towarowy–Krowodrza Górka w funkcji drogi
Źródło: oprac. własne.

Analiza wybranego odcinka zasilania

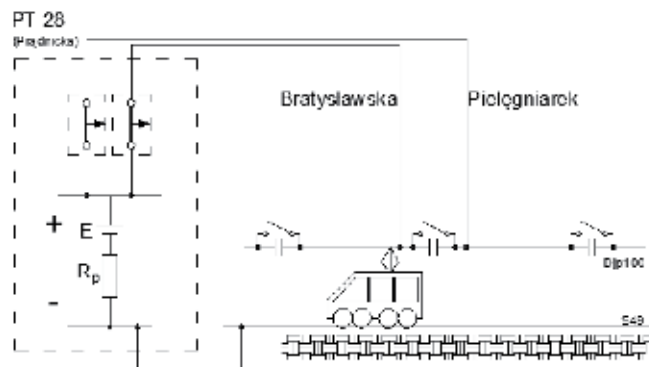
Na rys. 2 został zaprezentowany diagram obrazujący uproszczony tok postępowania przy realizowaniu badań symulacyjnych.

Podstawę analizy stanowiły obliczenia przejazdów teoretycznych, które zostały przeprowadzone dla rzeczywistej trasy z uwzględnieniem jej profilu poziomego i pionowego oraz parametrów elektrycznych całego obwodu. Analizie został poddany odcinek trasy tramwajowej za przystankiem Dworzec Towarowy (pętla Kamienna) aż do pętli Krowodrza Górka w Krakowie. Analizę zebranych danych umożliwiło precyzyjne odtworzenie i zestawienie w formie tabelarycznej oraz graficznej profili trasy z wyszczególnieniem istotnego dla prowadzonych badań położenia

Nazwy przystanków



Rys. 5. Wykreślony rozkład jazdy na trasie Dworzec Towarowy–Krowodrza Górka
Źródło: oprac. własne.



Rys. 6. Uproszczony schemat zasilania analizowanego fragmentu trasy
Źródło: oprac. własne.

punktów zasilających oraz przystanków [2, 3, 9]. Wybrane dane dotyczące trasy zostały przedstawione na rys. 3 i 4.

Na poniższym wykresie (rys. 4) przedstawiono w formie graficznej profil pionowy trasy, gdzie s to droga wyrażona w metrach, a h to wysokość w metrach nad poziomem morza.

Na rys. 5 został przedstawiony wykreślony rozkład jazdy z oznaczeniem przybliżonego czasu postoju na danym przystanku. Z analizy wykresu można stwierdzić, że po rozważanym odcinku zasilania w okresie 30 minut przemieszcza się około 21 pojazdów.

Schemat analizowanego układu

Energia elektryczna do rozważanego odcinka trasy doprowadzona jest poprzez 2 zasilacze: zasilacz Pielęgniarek (ZP) oraz zasilacz Bratysławska (ZB). Zmiana konfiguracji zasilania została (teoretycznie) wprowadzona poprzez zamknięcie styków odłącznika sekcyjnego, zlokalizowanego między 2 punktami zasilającymi wymienionych zasilaczy, co doprowadziło do powstania układu zasilanego „dwustronnie” z tej samej podstacji trakcyjnej. Ponieważ w układzie rzeczywistym omawiane punkty zasilające znajdują się dosyć blisko siebie, postanowiono przeanalizować również przypadek, dla którego punkty zasilające znajdują się na przeciwnych końcach nowo powstałego – połączonego – odcinka sieci trakcyjnej. Na rys. 6 przedstawiono uproszczony schemat zasilania analizowanego fragmentu odcinka trasy. Jak widać, każda sekcja (dzielnica) w konfiguracji rzeczywistej jest zasilana poprzez 1 zasilacz.

Wybrane wyniki symulacji

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wybrane wyniki symulacji przebiegu prądu obciążenia zasilaczy Bratysławska i Pielęgniarek.

Na rys. 7 przedstawiono przebieg 30-minutowego obciążenia (prądu) zasilacza Bratysławska (ZB) w godzinach szczytu, natomiast na rys. 8 – zasilacza Pielęgniarek (ZP), począwszy od pełnej godziny (przy założeniu, że pojazdy kursują zgodnie z rozkładem jazdy). Wyniki uzyskano drogą symulacji dla rzeczywistej konfiguracji układu zasilania.

Na rys. 9 przedstawiono teoretyczny przebieg 30-minutowego obciążenia (prądu) zasilacza Bratysławska, a na rys. 10 – Pielęgniarek przy zmienionej (teoretycz-

nie) konfiguracji zasilania i niezmiennym rozkładzie jazdy. Przy analizie wykresów można zauważyć istotny spadek wartości maksymalnych prądu zasilacza ZB (blisko o połowę).

Na rys. 11 przedstawiono rozptył prądów w zasilaczach Pielęgniarek oraz Bratysławska między 5. a 10. minutą rozważanego czasu przy założeniu, że konfiguracja zasilania została zmieniona przy jednoczesnym zwiększeniu odległości między punktami zasilającymi.

Wpływ zmiany konfiguracji sieci zasilającej przy założonym niekorzystnym położeniu pojazdów na trasie na wartość prądów zasilaczy

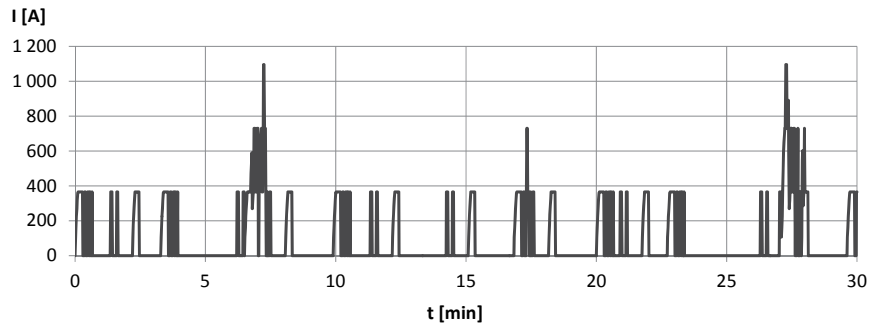
Przedstawione wcześniej wyniki uzyskano na bazie przeprowadzanych przejazdów teoretycznych zgodnie z planowym rozkładem jazdy. W kolejnych obliczeniach podjęto problem związany z zakłóceniem rozkładu jazdy (może się to zdarzać dość często ze względu na powstałe sytuacje ruchowe na trasie). Do przeprowadzenia obliczeń wybrano ten sam odcinek trasy, zasilany przez zasilacz Bratysławska, który następnie zostaje połączony z odcinkiem zasilanym z zasilacza Pielęgniarek poprzez zamknięcie odłącznika izolatora sekcyjnego. W obliczeniach symulacyjnych uwzględniono również przypadek ze zmianą położenia punktów zasilających zasilaczy. Do analizy wzięto przypadek zatrzymania się ruchu pojazdów szynowych: założono, że na jednym z torów i torze do niego równoległym (o przeciwnym kierunku jazdy) stoją po 4 pojazdy tramwajowe. Następnie 2 stojące na przeciwnych torach pojazdy ruszają prawie jednocześnie, za nimi po krótkim czasie kolejne 2 i tak dalej. W obliczeniach rozpatrzono kilka przypadków; najtrudniejszy z nich został przedstawiony poniżej. Przyjęto tu, że po 2 pojazdy na przeciwnych torach ruszają kolejno w odstępie 3 sekund.

Na rysunku 12 przedstawiono rozptył prądów w zasilaczach ZB i ZP dla tego szczególnego przypadku przy „dwustronnym” układzie zasilania, gdzie prąd I1 (sumaryczny) jest prądem obciążenia, jaki zaistniałby na zasilaczu Bratysławska w przypadku układu zasilania rzeczywistego.

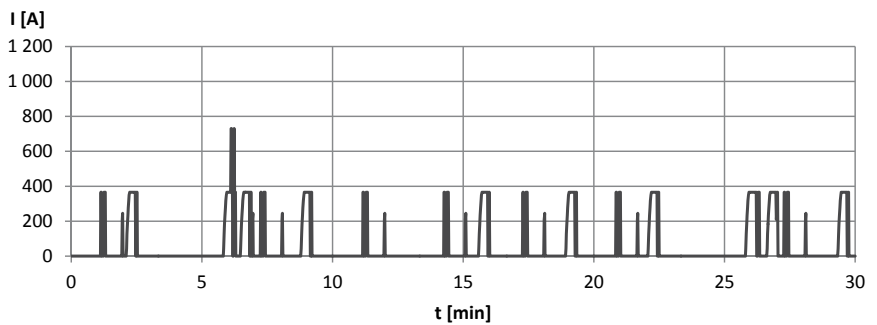
Podsumowanie

Na wartości obciążeń prądowych poszczególnych zasilaczy (miejskich podstacji trakcyjnych) mają wpływ: rozkład przystanków na trasie, profil trasy oraz obciążenie ruchowe. Szczegółowej analizie zostały poddane odcinki sieci trakcyjnej, zasilane przez zasilacze Pielęgniarek oraz Bratysławska w Krakowie.

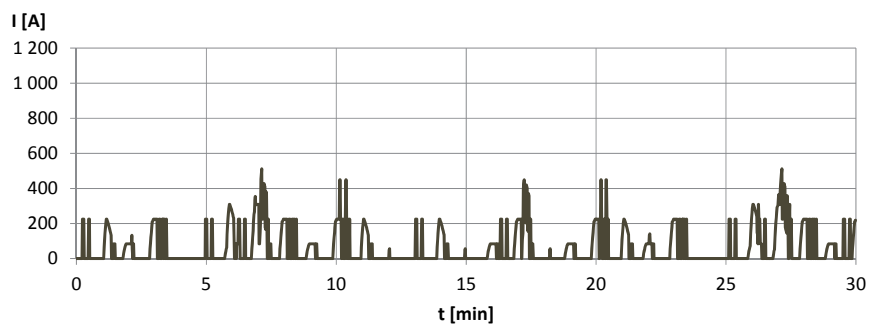
W przypadku zasilania jednostronnego maksymalne prądy obciążeń, w szczególności ZP oraz ZB, w niektórych sytuacjach ruchowych przyjmują wartości przewyższające 1000 A,



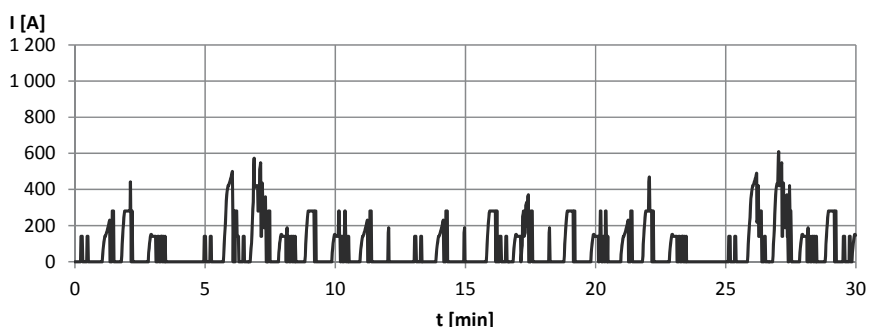
Rys. 7. Obciążenie zasilacza Bratysławska dla rzeczywistego układu zasilania
Źródło: oprac. własne.



Rys. 8. Obciążenie zasilacza Pielęgniarek dla rzeczywistego układu zasilania
Źródło: oprac. własne.

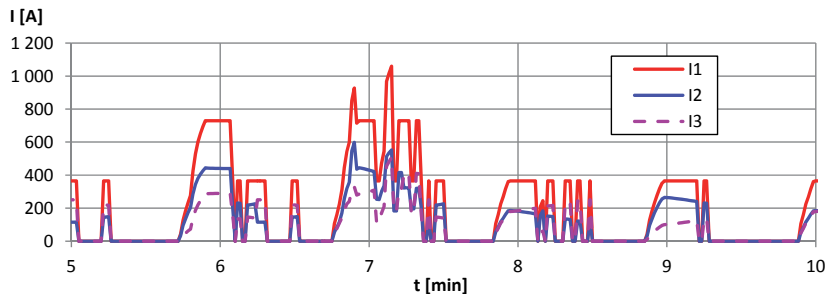


Rys. 9. Obciążenie 30-minutowe zasilacza Bratysławska – zmieniona konfiguracja zasilania
Źródło: oprac. własne.



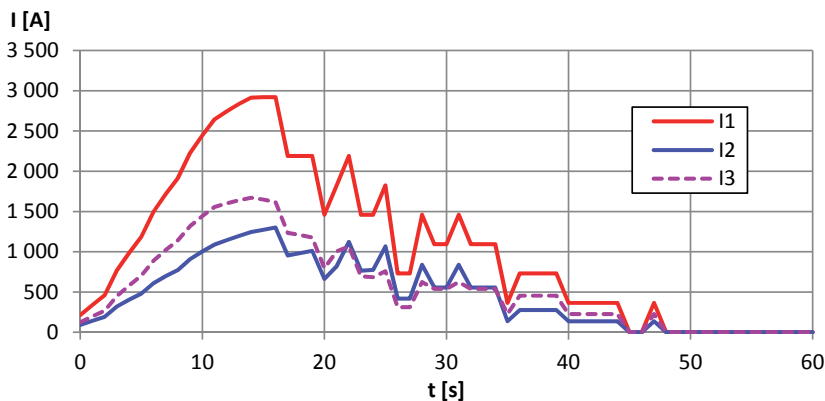
Rys. 10. Obciążenie 30-minutowe zasilacza Pielęgniarek – zmieniona konfiguracja zasilania
Źródło: oprac. własne.

nie przekracza to jednak nastawy wyłączników szybkich tych zasilaczy [8]. Należy jednak wziąć pod uwagę, że wspomniane przebiegi dotyczą sytuacji ruchowej zgodnej z rozkładem jazdy, natomiast w sytuacji awaryjnej prądy obciążenia w obydwu zasilaczach mogą znacznie wzrosnąć.



Rys. 11. Rozpływ prądów w zasilaczach – zmieniona konfiguracja zasilania i odległość między punktami zasilającymi, $I_1 = I_2 + I_3$, I_2 – prąd zasilacza Pielęgniarek, I_3 – prąd zasilacza Bratysławska

Źródło: oprac. własne.



Rys. 12. Rozpływ prądów w zasilaczach dla przypadku 3-sekundowego odstępu ruszania pojazdów – zmieniona konfiguracja zasilania, $I_1 = I_2 + I_3$, I_2 – prąd zasilacza Pielęgniarek, I_3 – prąd zasilacza Bratysławska

Źródło: oprac. własne.

Zamknięcie styków odłącznika izolatora sekcyjnego i utworzenie układu „dwustronnie” zasilanego spowodowało (spodziewany) spadek wartości maksymalnych prądów na skutek rozłożenia się obciążenia z 1 punktu na 2 punkty zasilające. Dodatkowo, w przypadku zwiększenia odległości między punktami zasilającymi (przesunięcie punktów zasilania zasilaczy), obciążenie prądowe zasilaczy (jego zmienność) ulega istotnemu zmniejszeniu oraz następuje zmniejszenie (w zakresie analizowanego czasu) wartości maksymalnych tych prądów, pochodzących od obszaru zasilanego.

W sytuacji awaryjnego zatrzymania pojazdów na trasie i ich prawie jednoczesnego ruszania na odcinku badanym, przy aktualnym układzie zasilania sieci trakcyjnej dla zasilacza Bratysławska, może nastąpić zadziałanie wyłącznika szybkiego na skutek dużego sumarycznego prądu pobieranego przez ruszające pojazdy. Gdyby zastosować układ zasilania „dwustronny” poprzez zamknięcie styków odłącznika izolatora sekcyjnego łączącego badane odcinki sieci, zadziałanie wyłącznika nie wystąpi z powodu obniżenia wartości maksymalnych prądu zasilacza blisko o połowę. Przesunięcie punktów zasilających zasilaczy spowodowało (dla wszystkich analizowanych, w tym również niekorzystnych, przypadków) bardziej równomierne obciążenie obu zasilaczy. Teoretycznie po zmianie konfiguracji zasilania sieci, poprzez zamknięcie styków odłącznika izolatora sekcyjnego, pojawia się możliwość obniżenia nastawy wyłącznika szybkiego dla zasilacza Bratysławska nawet o 700 A.

Podsumowując: wprowadzenie „dwustronnego” (przedstawionego w niniejszym artykule) układu zasilania w trakcji tramwa-

jowej wydaje się szczególnie korzystne w miejscach, gdzie wyłączniki szybkie są wyzwalane na skutek nadmiernego wzrostu prądów obciążeń; dotyczy to np. obszarów dużych skrzyżowań. Stwarza to możliwość zmniejszenia ilości zadziałań wyłączników szybkich, co wiąże się z istotnymi oszczędnościami finansowymi (dłuższy okres pracy wyłączników).

Natomiast właściwe ułożenie punktów zasilających mogłoby obniżyć wartość skuteczną prądów zasilaczy, co poprawiłoby ich temperaturowe warunki pracy.

Bibliografia:

1. Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik S., *Trakcja elektryczna prądu stałego. Układy zasilania*, Podręcznik INPE, z. 27, Kraków–Bełchatów 2009.
2. *Dokumentacja powykonawcza odcinków sieciowych Dworzec Towarowy, Krowodrza Górka*, ZIKiT, Kraków.
3. *Dokumentacja projektowa podstacji tramwajowej nr 28 Prądnicka*, ZIKiT, Kraków.
4. Głowacki K., Onderka E., *Sieci trakcyjne*, EMTRAK, Kraków 2002.
5. Kotarski F., Solarek T., *Sieci trakcyjne*, Politechnika Łódzka, Łódź 1988.
6. Mierzejewski L., Szelaż A., Gałuszewski M., *System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
7. Mierzejewski L., Szelaż A., *Układy zasilania zelektryfikowanego transportu miejskiego*, „Technika Transportu Szynowego” 1999, nr 11.
8. *Protokoły pomiarowe*, Podstacja Prądnicka nr 28, ZIKiT, Kraków.
9. *Dokumentacja projektowa trasy Dworzec Towarowy–Krowodrza Górka*, ZIKiT, Kraków.

Autorzy:

Ireneusz Chrabąszcz – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem
Janusz Prusak – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem
Marcin Stecyk – Biuro Inżynierskich Usług Projektowych Sp. z o.o., Grupa ZUE S.A.

Load distribution of the tram catenary power supply units with the changed configuration of supply

This article briefly discusses methods of traction contact system powering. Then some simulation results, related to the analysis of load of tram network power cables in the selected subsection, were presented. For the test, an existing section of the tram line was taken. Simulation studies were carried out for the actual conditions (route profile, the location of tram stops and timetable), which were compared with those obtained after carrying out the theoretical change in the system by supplying adjacent connected sections with use of two cables (duplex powering). The study also included a case of timetable interference (caused by increased traffic of trams).