

Andrzej Białoń, Ireneusz Chrabąszcz, Wasyl Hudym, Adrian Kaczmarczyk, Janusz Prusak

Wpływ odległości kolejowych podstacji trakcyjnych na rozkład obciążeń między nimi – symulacyjna ocena wybranych przypadków

W artykule przedstawiono wybrane wyniki symulacji komputerowych, dotyczące rozkładu obciążenia trakcyjnego między podstacjami zależnie od odległości między nimi i położenia pojazdu trakcyjnego. Do modelu zastępczego układu zasilania linii kolejowej DC przyjęto typowe parametry elektryczne podstacji trakcyjnej oraz sieci jezdnej i powrotnej. Obliczenia symulacyjne przeprowadzono przy wprowadzeniu przedstawionych we wstępnej części artykułu uproszczeń. Do badań wykorzystano nowoczesne narzędzie komputerowe – program Mathcad 15.

Parametry kolejowych systemów zasilania trakcji elektrycznej dobierane są pod kątem przewidywanych dla nich potrzeb energetycznych [5]. Podstawą tego doboru jest właściwa ocena obciążeń aparatów i urządzeń, stanowiących wyposażenie obwodów głównych kolejowych podstacji trakcyjnych. Prawidłowy dobór przekłada się również na ograniczenie awaryjności pracy układu zasilania, a tym samym ciągłość zasilania sieci trakcyjnej i ograniczenie strat związanych m.in. z kosztami remontów. Możliwe jest również uzyskanie dodatkowych korzyści wynikających chociażby z ograniczenia kosztów inwestycyjnych czy też eksploatacyjnych dobranych urządzeń dzięki ich pracy w warunkach bliskich znamionowym. W artykule przedstawione zostały wybrane wyniki symulacji, dotyczące wpływu odległości między kolejowymi podstacjami trakcyjnymi na rozkład obciążeń między nimi, oraz przeprowadzona została ich analiza. Wyniki uzyskano, wykorzystując metodę obliczeniową, tzw. „rozwinęta” [por. 1].

Model zastępczy i założenia upraszczające

System zasilania trakcji kolejowej stanowią urządzenia oraz elementy je łączące, począwszy od dostawcy energii (energetyki zawodowej), przez podstacje trakcyjne, aż do sieci trakcyjnej górnej, pojazdów z niej zasilanych oraz sieci powrotnej.

Konieczne było utworzenie modelu zastępczego układu zasilania typowego dla kolejowej trakcji DC, który uwzględni rozmieszczenie podstacji trakcyjnych i parametry elektryczne sieci trakcyjnej.

Podstacje trakcyjne (PT) potraktowane zostały jako rzeczywiste źródła napięcia stałego podłączone do pracy równoległej. Przyjęto, że posiadają one jednakowe rezystancje wewnętrzne i napięcia zasilające oraz znajdują się w równych odległościach od siebie. Założono, że linia kolejowa jest jednotorowa i na całej długości sieć trakcyjna ma taką samą rezystancję jednostkową. Przyjęto następujące dane elementów układu zasilania: rezystancja wewnętrzna podstacji: $0,253 \Omega$; rezystancja jednostkowa sieci trakcyjnej: $0,0858 \Omega$ [2, 5]. Ponadto założono, że pojazd trakcyjny porusza się ze stałą prędkością i pobiera cały czas taki sam prąd, do

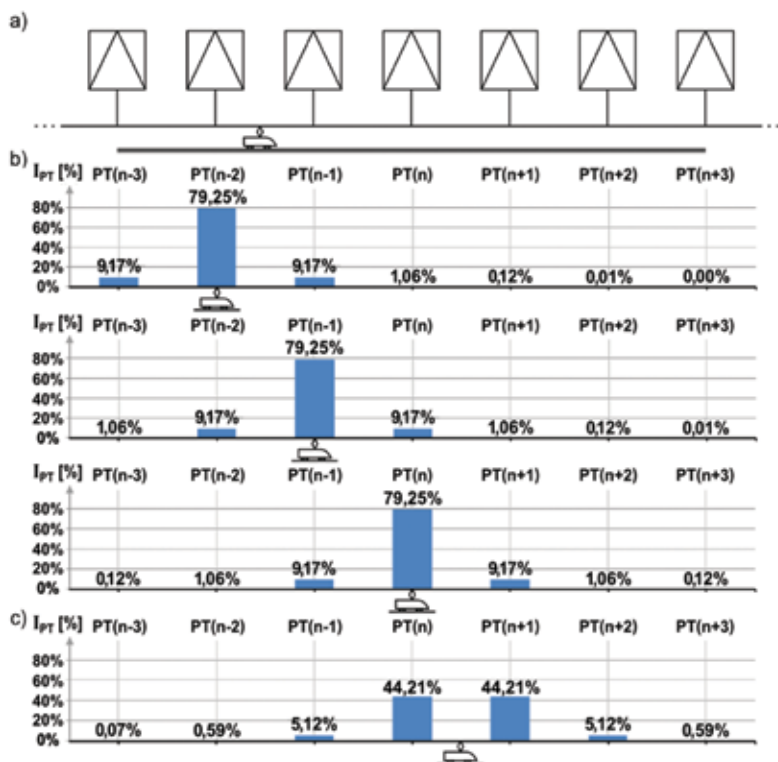
którego odniesione są udziały procentowe prądów obciążających poszczególne podstacje.

Obliczenia przeprowadzone zostały przy wykorzystaniu oprogramowania Mathcad 15 [4]. Program utworzony w tej aplikacji, model matematyczny układu zasilania, przyjął postać równań macierzowych. Model ten umożliwia analizę wielu przypadków przy zmieniających się parametrach i obliczanie wartości prądów w wybranych punktach, w zależności od położenia pociągu.

Wyniki symulacji i ich analizy

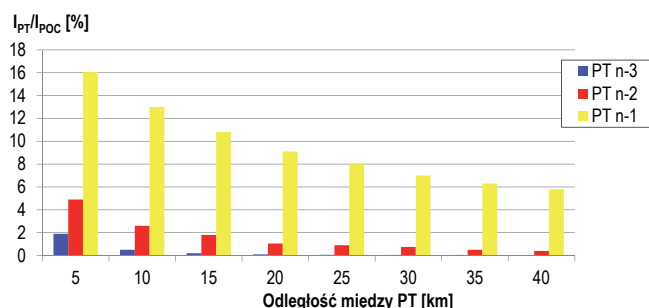
Analizując działanie systemu zasilania trakcji elektrycznej przy użyciu modelu uwzględniającego jego parametry elektryczne, można przewidzieć, że obciążenie poszczególnych podstacji przez odbiornik prądu (pojazd trakcyjny) będzie się rozkładać pomiędzy więcej niż 2 podstacje znajdujące się z obu stron zasilanego odcinka sieci, na którym znajduje się pojazd. Podobnie będzie w sytuacji, gdy pojazd znajdzie się tuż przy podstacji – nie tylko ona będzie dostarczać energię, ale dostarczą ją też sąsiednie podstacje [1, 3].

Rozważając to zagadnienie, przypuszczano, że jednym z ważniejszych czynników odpowiadających za rozkład obcią-



Rys. 1. a) schemat ideowy układu podstacji; b) rozkład obciążeń podstacji podczas przejazdu pociągu w chwilach, gdy pociąg mija podstacje o numerach od 'n-3' do 'n'; c) rozkład obciążeń podstacji w chwili, gdy pociąg jest w połowie odcinka między podstacją 'n' a 'n+1'

Źródło: oprac. własne.



Rys. 2. Wartości prądów podstacji sąsiadujących z podstacją, przy której znajduje się pojazd, w zależności od odległości pomiędzy nimi
Źródło: oprac. własne.

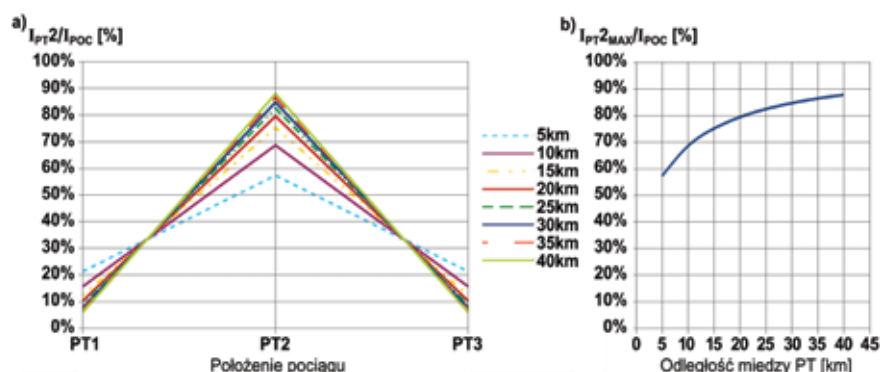
zenia jest odległość pomiędzy podstacjami. Wprawdzie nie jest to jedyny czynnik, mimo to w dalszych rozważaniach przyjęto wstępnie, że jest on pierwszy w kolejności i że jego wpływ należy przeanalizować, ponieważ determinuje on konieczny poziom rozbudowania zastosowanego modelu zastępczego układu zasilania i może mieć znaczący wpływ na maksymalne wartości obciążenia podstacji.

Analiza rozkładu obciążenia

Jak widać na rys. 1, gdy pojazd porusza się po linii, podstacje kolejno przejmują jego zasilanie. W prezentowanym przypadku podstacje i sieć trakcyjna mają parametry zbliżone do najczęściej spotykanych (wymienione powyżej), a założona odległość pomiędzy podstacjami wynosi 20 km. Ponadto przedstawiony obszar zasilania jest fragmentem dłuższej linii, zaczynającej się od podstacji (PT) o numerze n-10 i kończącej na PT n+10, dzięki temu na przedstawione na rys. 1 wyniki nie ma wpływu dalsza część obszaru zasilania.

Maksymalna wartość prądu, jaki dostarcza pojazdowi każda z podstacji, wynosi 79% wartości całkowitego prądu pobieranego przez pojazd; ma to miejsce w momencie, gdy pojazd mija podstację (zakładamy, że rezystancja zasilacza jest pomijalnie mała i jednakowa dla każdej PT). Na rys. 1b można zauważyć, że w tym momencie (gdy pojazd znajduje się przy PTn) w zasilaniu pojazdu bierze udział jedynie 5 podstacji, gdy tymczasem udział pozostałych jest mniejszy od 1%.

Na rys. 1c pokazana została sytuacja, dla której pociąg znajduje się dokładnie w połowie odcinka pomiędzy 2 podstacjami i obydwie zasilają go w równym stopniu, każda po 44%, a łączna liczba podstacji, mająca udział w jego zasilaniu większy od 1%, wynosi 4.



Rys. 3. a) przebieg obciążenia środkowej podstacji trakcyjnej dla linii zasilanej przez 3 podstacje trakcyjne dla zmieniającej się odległości pomiędzy nimi; b) przebieg wartości maksymalnej prądu PT2 dla zmieniającej się odległości pomiędzy podstacjami
Źródło: oprac. własne.

Zmiana odległości pomiędzy podstacjami wpływa na oba wymienione wyżej czynniki: prądy maksymalne PT oraz liczbe podstacji, które mają istotny udział w zasilaniu przejeżdżającego pojazdu.

Rozpiętość odległości między podstacjami

Rys. 2 przedstawia, jaki udział w zasilaniu pojazdu znajdującego się przy danej PTn, znajdującej się na środku linii, mają sąsiednie podstacje. W sytuacji tej, przy przyjętych założeniach, rozkład obciążeń jest symetryczny, czyli obciążenie PT n-1 jest równe obciążeniu PT n+1 itd. Rozpiętość odległości podstacji w zastosowanym modelu jest taka sama jak w przypadku symulacji, których wyniki przedstawiono na rys. 1.

Jak widać na rysunku 2, jedynie w skrajnej sytuacji, przy najmniejszej branej pod uwagę odległości podstacji, trzecia w kolejności podstacja ma udział w zasilaniu odbiornika energii większy niż 1%. Pierwsza sąsiednia podstacja zawsze zachowuje istotne znaczenie, natomiast druga w kolejności, przy zwiększaniu odległości, staje się podobnie mało istotna jak trzecia.

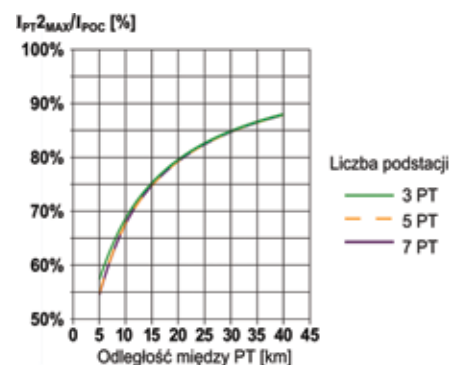
Prąd obciążenia środkowej podstacji

Na rys. 3a przedstawiono przebiegi obciążeń środkowej podstacji w przypadku, gdy linia zasilana jest (tylko) przez 3 podstacje trakcyjne znajdujące się na końcach i pośrodku odcinka zasilania, dla zmieniającej się odległości pomiędzy nimi, w zależności od położenia pojazdu. Na rys. 3b przedstawiono natomiast zależność wartości maksymalnej prądu PT2 od odległości między podstacjami.

Podobne wykresy uzyskano dla przypadków, gdy linia jest zasilana przez 5 lub 7 podstacji trakcyjnych. W celu porównania wyników dotyczących rozkładu obciążeń pomiędzy 3 konfiguracjami zasilania (3, 5 i 7 podstacji) „zmieniano” odległość pomiędzy nimi w ten sam sposób (patrz legenda do rys. 3).

W oparciu o przebiegi obciążeń opisane powyżej uzyskano zależności (przedstawione poniżej na rys. 4–6) obrazujące wpływ odległości pomiędzy podstacjami trakcyjnymi oraz ich liczby na specyfikę obciążenia analizowanej (czyli środkowej) podstacji trakcyjnej.

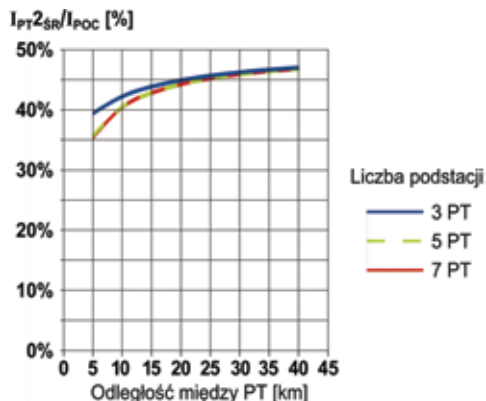
Na rys. 4 przedstawiono względną wartość prądu maksymalnego środkowej podstacji, w zależności od odległości pomiędzy podstacjami, wraz z uwzględnieniem branej pod uwagę ich liczby. Można zauważyć, że pomiędzy wynikami dla 5 czy 7 branych pod uwagę podstacji, różnica w przebiegu wykresów jest bardzo mała (przebiegi wręcz pokrywają się).



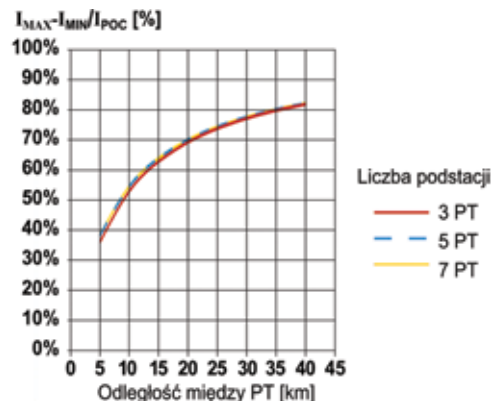
Rys. 4. Zależność prądu maksymalnego środkowej podstacji trakcyjnej od odległości między podstacjami oraz liczby rozważanych podstacji
Źródło: oprac. własne.

Na rys. 5 zaprezentowano średnią wartość prądu, w jednostkach względnych, środkowej podstacji w zależności od odległości pomiędzy podstacjami i przy uwzględnieniu ich liczby.

Na rys. 6 pokazano przebieg różnicy względnych wartości maksymalnych i minimalnych prądu (czyli rozstęp wartości) środkowej podstacji w zależności od odległości pomiędzy podstacjami i przy uwzględnieniu ich liczby.



Rys. 5. Zależność średniej wartości prądu środkowej podstacji trakcyjnej od odległości między podstacjami oraz od branych pod uwagę liczby podstacji
Źródło: oprac. własne.



Rys. 6. Zależność różnicy względnych wartości prądów maksymalnych i minimalnych (rozstęp wartości) od odległości między podstacjami oraz liczby branych pod uwagę podstacji
Źródło: oprac. własne.

Podsumowanie

Na podstawie wykresów przedstawionych na rys. 4, 5 i 6 można sformułować pewne spostrzeżenia. Należy jednak pamiętać, że uzyskano te wykresy przy przyjętych założeniach upraszczających. Autorzy uważają, że nie pomniejsza to w żaden sposób wartości zaprezentowanego materiału. Przykładowo wykresy z rys. 6 wskazują, że zakres zmian wartości obciążeń rozważanej podstacji zależy od odległości między podstacjami, a nie zależy od liczby branych pod uwagę podstacji. Może to być istotny wniosek na etapie projektowania układu zasilania, szczególnie w przypadku, gdy będzie rozważany problem ograniczenia zakresu zmienności obciążeń zespołów prostownikowych. Dla specjalistów wszystkie przedstawione wykresy są wystarczająco czytelne. Sformułowanie bardziej szczegółowych uwag będzie możliwe po uzyskaniu kolejnych wyników na podstawie dalszych analiz, które będą realizowane niezależnie od posiadanych możliwości badawczych.

Bibliografia:

1. Białoń A., Chrabąszcz I., Hudym W., Kaczmarczyk A., Prusak J., *Wstępna ocena rozkładu obciążeń prądowych kolejowych podstacji trakcyjnych w układzie zasilania DC*, SEMTRAK 2014: XVI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej, Politechnika Krakowska, Kraków 2014.

2. Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik S., *Trakcja elektryczna prądu stałego. Układy zasilania. Podręcznik INPE dla elektryków*, z. 27, Kraków-Belchatów 2009.
3. Drapik S., Dudzik M., Kobielski A., Prusak J., *Komparatywna ocena zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych*, MET' 2013: XI Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Nowoczesna Trakcja Elektryczna”, Politechnika Warszawska, Warszawa 2013.
4. <http://www.ptc.com/product/mathcad> (dostęp z dnia 12.05.2015 r.).
5. Mierzejewski L., Szeląg A., Gałuszewski M., *Systemy zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.

Autorzy:

- dr inż. **Andrzej Białoń** – Instytut Kolejnictwa, Warszawa
 dr inż. **Ireneusz Chrabąszcz** – Politechnika Krakowska
 dr hab. inż. **Wasył Hudym** – Politechnika Krakowska
 mgr inż. **Adrian Kaczmarczyk** – „FPU ELSTER s.c. – Kraków”
 dr inż. **Janusz Prusak** – Politechnika Krakowska

X KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

Zintegrowany transport publiczny w obsłudze miast i regionów

PublicTrans 2015

Zakopane, 21–23 października 2015 r.

Tematem przewodnim konferencji będzie integracja różnych środków i technologii transportu publicznego w Polsce w aspekcie tworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu. Obrady konferencji przebiegały będą w następujących obszarach problemowych:

- ⇒ Dylematy organizacyjne transportu publicznego w obszarach metropolitalnych
- ⇒ Problematyka funkcjonowania kolejowego i autobusowego transportu regionalnego
- ⇒ Dylemat zrównoważonego rozwoju – tabor niskoemisyjny autobus czy tramwaj
- ⇒ Nowe horyzonty transportu publicznego w regionie
- ⇒ Dylematy integracji systemu transportowego w regionie

Informacje o konferencji:

SITK RP O/Radom, 26-600 Radom, ul. prof. W. Krukowskiego 1
 Tel./fax.: 48 360 26 97, tel. kom.: 695 985 185
 e-mail: radom@sitkrp.org.pl
 www.sitkradom.pl