

Sławomir Drapik, Adrian Kaczmarczyk, Andrzej Kobielski, Janusz Prusak

Charakter zmienności obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych zasilających linie o różnej specyfice ruchu pojazdów

Autorzy niniejszego artykułu od pewnego czasu zajmują się analizami zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych [5, 6, 7, 9]. Zainteresowanie w tym zakresie wzbudza również zmienność obciążeń zespołów prostownikowych tramwajowych podstacji trakcyjnych. Znajomość charakteru tej zmienności może stanowić podstawę do podjęcia działań np. w zakresie doskonalenia metod projektowych dla obiektów infrastruktury miejskiego elektrycznego transportu szynowego. Poniżej przedstawiono wyniki i analizę pomiarów obciążenia dwóch tramwajowych podstacji trakcyjnych, zlokalizowanych w różnych częściach Krakowa.

Wybrane obiekty do badań

Pierwsza z analizowanych podstacji trakcyjnych „Czyżyny” [3] (PT-1) zasilą sieć trakcyjną na trasach przelotowych. Zwraca uwagę w centralna lokalizacja tej podstacji w obszarze miasta w złożonym węźle komunikacji szynowej, jak i drogowej o znacznym natężeniu ruchu. Druga z wziętych pod uwagę podstacji – „Nowa Huta” [4] (PT-2) – zlokalizowana jest w pobliżu jednej z dwóch zajętni tramwajowych w Krakowie. Podstacja ta zasilą również 2 pętle tramwajowe. Interesującym zagadnieniem dla autorów była ocena charakteru występujących obciążeń zespołów prostownikowych w każdej z wymienionych podstacji trakcyjnych. Każda podstacja wyposażona jest w 4 zespoły prostownikowe o sumarycznej mocy znamionowej 3 200 kW. Zespoły te znamionowane

są w V klasie obciążalności [13], tzn. że przeciążenie długotrwałe trwa 2 godziny i wynosi 150% prądu znamionowego, a przeciążenie krótkotrwałe trwa 1 min i wynosi 200% prądu znamionowego. Na rys.1 pokazano lokalizację podstacji „Czyżyny” (PT-1) i „Nowa Huta” (PT-2) na tle konturu miasta Krakowa.

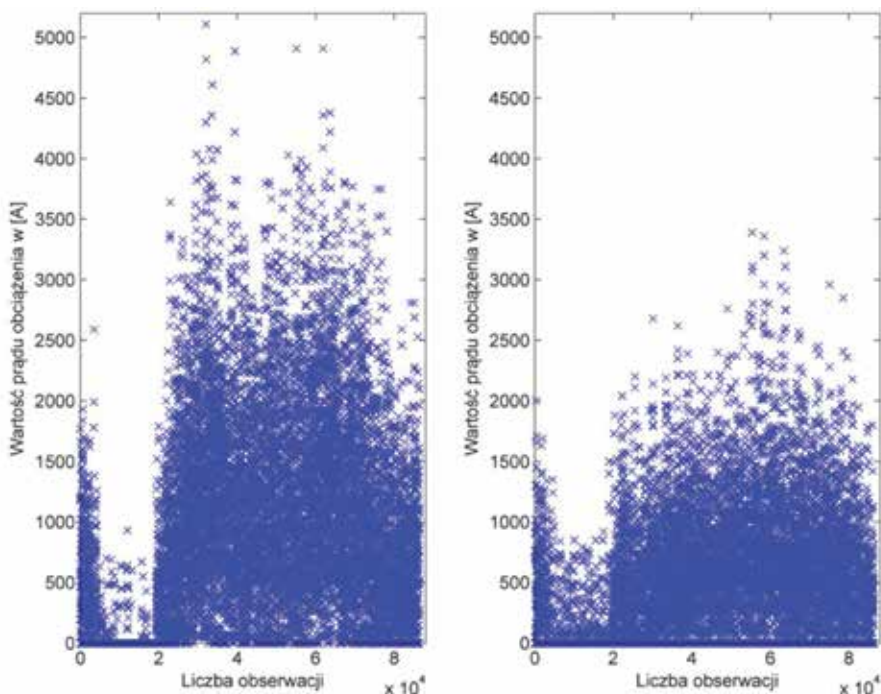
Wyniki pomiarów

Podstawę do obliczeń i analiz stanowiły wyniki pomiarów prądów obciążeń trakcyjnych, otrzymanych do celów badawczych i dydaktycznych od Zarządu Infrastruktury Komunikacyjnej i Transportowej w Krakowie [14, 15]. Zarejestrowane pomiary dotyczyły prądów w poszczególnych zasilaczach i były zrealizowane z częstotliwością 1 Hz. W celu oceny obciążenia zespołów prostownikowych trzeba było dokonać sumowania powyższych prądów. Na rys. 2 i 3 pokazano końcowe efekty tych sumowań, czyli przebiegi chwilowych wartości prądów trakcyjnych dla wybranych odcinków czasowych danych podstacji. Wzięto pod uwagę 1 dzień poprzedni (23.10.2013 r. – środa) i 1 dzień świąteczny (27.10.2013 r. – niedziela).

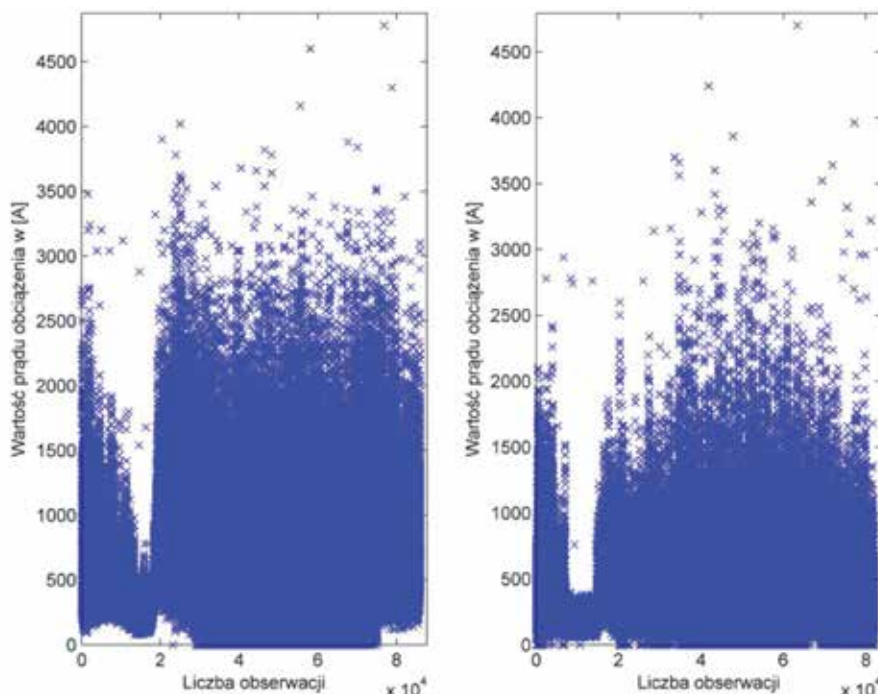
Rys. 2 i 3 pozwalają zauważyć, że zarejestrowane obciążenia trakcyjne mają znaczny zakres zmienności. Uwidacznia się w każdym z 4 przypadków okres obniżonego obciążenia w czasie nocnej przerwy w kursowaniu tramwajów. Można jeszcze np. zauważyć, że w dzień świąteczny (obciążenia) prądy są mniejsze niż w dzień roboczy.



Rys. 1. Lokalizacja tramwajowych podstacji trakcyjnych „Czyżyny” (PT-1) i „Nowa Huta” (PT-2)



Rys. 2. Przebieg chwilowych wartości prądu obciążenia podstacji trakcyjnej „Czyżyny” (PT-1) w dniach: A) 23.10.2013 r. (środa); B) 27.10.2013 r. (niedziela)
Źródło: oprac. własne.



Rys. 3. Przebieg chwilowych wartości prądu obciążenia podstacji „Nowa Huta” (PT-2) w dniach: A) 23.10.2013 r. (środa); B) 27.10.2013 r. (niedziela)
Źródło: oprac. własne.

Oceny powyższe mają charakter przybliżony (opisowy). Przeprowadzenie ilościowych (szczegółowych) analiz daje wyniki, które umożliwiają porównanie wartości i charakteru obciążeń wziętych pod uwagę tramwajowych podstacji trakcyjnych.

Wybrane wyniki analizy pomiarów

Poniżej przedstawiono wyniki analiz przebiegów prądów obciążeń trakcyjnych dla wspomnianych tramwajowych podstacji trakcyjnych. Pokazano i porównano wielkości i wskaźniki elektryczne, jak i inne (matematyczne) obrazujące w poszerzonym zakresie specyfikę zmienności prądów obciążeń pochodzących od zasilanego taboru tramwajowego. Ze względu na termiczne warunki pracy urządzeń podstacji trakcyjnych w pierwszej kolejności zwrócono uwagę na pracę w godzinach szczytowych obciążeń. Interesujące są również te odcinki czasowe, gdy podstacje pracują poniżej swoich możliwości znamionowych.

Przedstawione w tabeli 1 wyniki dotyczą w każdym przypadku jednej doby, czyli każda analiza była odniesiona do 24 godzin.

Biorąc pod uwagę średnie wartości prądów, można stwierdzić, że w dzień powszedni podstacja PT-1 jest nieco bardziej obciążona niż podstacja PT-2 (o ok. 5,6%), natomiast w dzień świąteczny obie podstacje są obciążone tak samo. Z powyższego wynika, że obciążenie podstacji PT-1 w dzień świąteczny zmniejsza się w nieco większym stopniu niż podstacji PT-2 i wynosi ok. 58,45% obciążenia z dnia powszedniego.

Biorąc pod uwagę współczynnik kształtu, czyli iloraz wartości skutecznej prądu do jego wartości średniej, można zauważyć, że współczynnik ten dla podstacji PT-1 dla dnia roboczego, jak i dnia świątecznego, jest wyższy w porównaniu ze współczynnikiem dla podstacji PT-2. Świadczy to o tym, że zmienność prądu obciążenia podstacji PT-1 w obu dniach jest większa niż podstacji PT-2. Można ponadto zauważyć, że w przypadku obu podstacji współczynnik ten jest większy w dzień świąteczny niż w dzień roboczy. W dzień świąteczny mamy do czynienia ze zwiększoną zmiennością obciążenia w porównaniu z dniem roboczym.

Biorąc pod uwagę współczynnik szczytu, czyli iloraz wartości maksymalnej prądu do jego wartości skutecznej, można stwierdzić, że współczynnik ten jest większy dla podstacji PT-2 – tak w dzień powszedni, jak i w dzień roboczy. Dla obu podstacji współczynnik ten jest większy w dzień świąteczny. Współczynnik eksperymentalny jest to iloraz wartości maksymalnej prądu do jego wartości średniej, czyli jest to pewna modyfikacja współczynnika szczytu. Widać w tab. 1, że zmienia się on wg tych samych zasad co współczynnik szczytu.

Zmierzone wartości maksymalne prądu obciążenia mieszczą się w granicach od 3390 A do 4890 A. Prąd obciążenia długotrwałego obu podstacji trakcyjnych, wynikający z ilości zainstalowanych zespołów prostownikowych oraz przyjętej klasy obciążalności, wynosi ok. 4850 A.

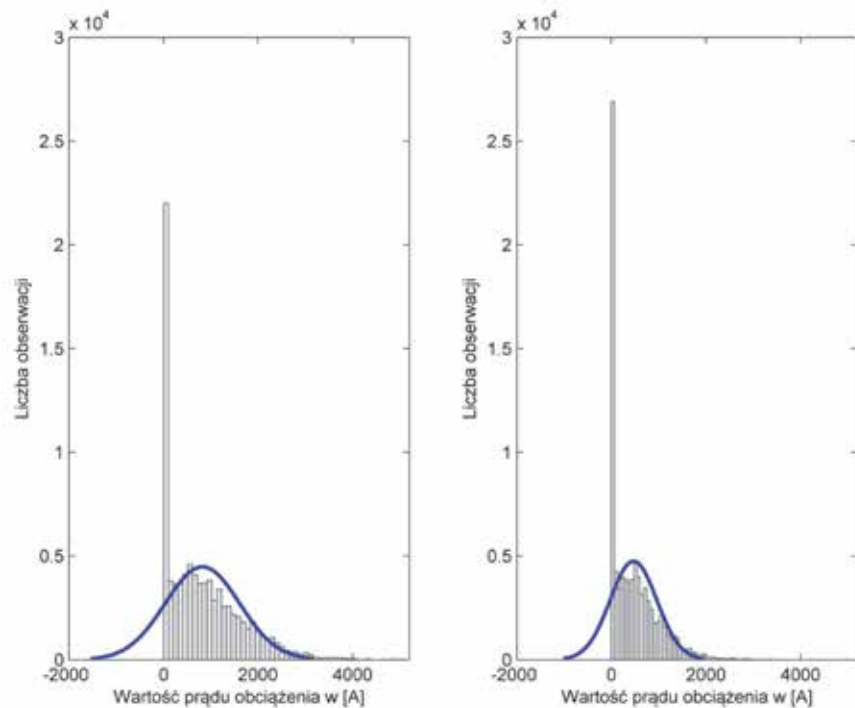
W tab. 1 można zauważyć, że minimalne wartości prądu w każdej podstacji w obu analizowanych dniach przyjmują wartość 0 A. W przypadku analizy obciążeń 3 kolejowych podstacji trakcyjnych zasilających węzeł krakowski [5–7, 9] ani razu, w skali doby, obciążenie nie osiągnęło wartości zerowej.

Wskaźniki statystyczne stanowią poszerzenie informacji o charakterze zmienności analizowanych obciążeń trakcyjnych. Na rys. 4 i 5 przedstawiono rozkłady empiryczny i teoretyczny obu analizowanych podstacji trakcyjnych PT-1 oraz PT-2.

Na rys. 4 przedstawiono histogramy zarejestrowanych chwilowych wartości prądu obciążenia dla podstacji trakcyjnej „Czyżyny” w dniach 23 (A) i 27 (B) października 2013 r. Przedstawione dane wskazują, że przez ponad 20% czasu pracy podstacji w dniu 23.10.2013 r. oraz prawie 29% jej funkcjonowania w dniu 27.10.2013 r. w jej obszarze zasilania nie występuje ruch pojazdów trakcyjnych. Jest to bardzo istotna informacja, która pokazuje, w jak długim czasie zespoły prostownikowe pracują bez obciążenia. Z porównania przedstawionych rozkładów – empirycznego i teoretycznego – wynika, że dla pomiarów zarejestrowanych w niedzielę kształt przebiegu krzywej teoretycznej wskazuje na zdecydowanie mniejsze wartości prądów obciążenia podstacji trakcyjnej w stosunku do dnia powszedniego (w tym przypadku chodzi o środę). Tę obserwację możemy potwierdzić przy użyciu parametru odchylenia standardowego, który – określony liczbowo – mówi, jak bardzo pomierzone wartości są rozrzucone wokół jej średniej. Dla przypadku A) wartość tego parametru wynosi ponad 754 A, zaś w wariancie B) równa się ok. 491 A (zgodnie z tab. 1). Oba rozkłady empiryczne mają charakter leptokurtyczny. Wartość kurtozy dla powyższych danych jest dodatnia, co wyraźnie wskazują przedstawione na rys. 4 dane. Parametr skośności jest dodatni, ponieważ oba uzyskane rozkłady są prawostronne.

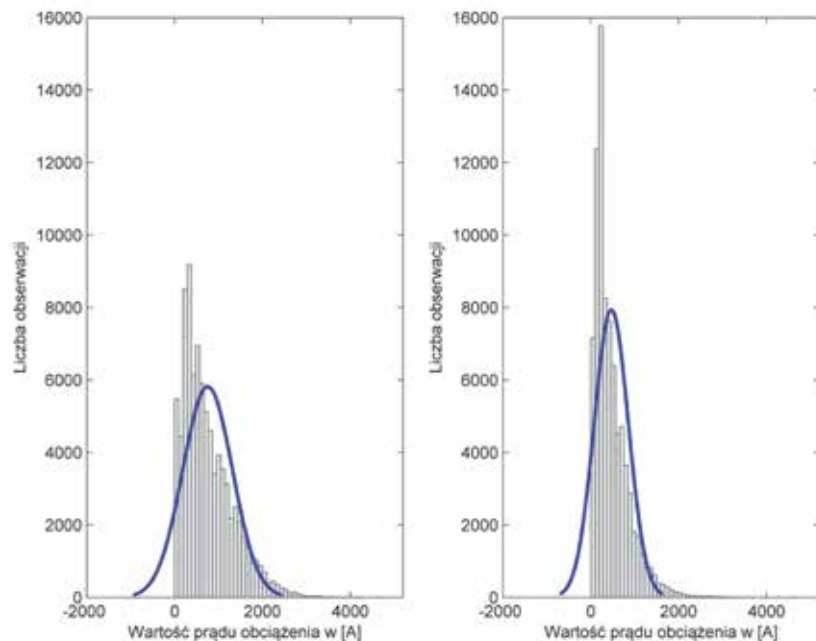
Na rys. 5 pokazano histogramy zarejestrowanych chwilowych wartości prądu obciążenia dla podstacji trakcyjnej „Nowa Huta” w dniach 23 (A) i 27 (B) października 2013 r. Zamieszczone dane wskazują, że podczas około 3% czasu pracy podstacji trakcyjnej w dniu 23.10.2013 r. oraz przez ponad 2% czasu jej funkcjonowania w dniu 27.10.2013 r. w jej obszarze zasilania nie występuje ruch pojazdów trakcyjnych. Porównanie przedstawionych na rys. 5 rozkładów – empirycznego i teoretycznego – pozwala na stwierdzenie, że dla pomiarów uzyskanych w niedzielę kształt przebiegu krzywej teoretycznej wskazuje na zdecydowanie mniejsze wartości prądów obciążenia podstacji trakcyjnej „Nowa Huta” w stosunku do dnia powszedniego.

Warto zauważyć, że w dniu 23.10.2013 r. (środa) podstacja trakcyjna „Nowa Huta” zarejestrowała ponad 6-krotnie mniej



Rys. 4. Histogram chwilowych wartości prądu obciążenia podstacji trakcyjnej „Czyżyny” (PT-1) w dniach: A) 23.10.2013 r. (środa); B) 27.10.2013 r. (niedziela)

Źródło: oprac. własne.



Rys. 5. Histogram chwilowych wartości prądu obciążenia podstacji trakcyjnej „Nowa Huta” (PT-2) w dniach: A) 23.10.2013 r. (środa); B) 27.10.2013 r. (niedziela)

Źródło: oprac. własne.

wartości wskazujących na pracę zespołów prostownikowych na biegu jałowym w stosunku do PT „Czyżyny” dla tego samego dnia. Zaś w przypadku porównania pomiarów obu podstacji trakcyjnych w dniu 27.10.2013 r. PT „Nowa Huta” uzyskała ponad 12-krotnie mniej tychże wartości.

Tak duża różnica w czasie pracy na biegu jałowym zespołów prostownikowych obu podstacji trakcyjnych wynika z faktu, iż PT

Tab. 1. Zestawienia wartości prądów i współczynników charakteryzujących analizowane obciążenia

Nr sys. PT	1	1	2	2
Doba pom.	23.10.2013 r.	27.10.2013 r.	23.10.2013 r.	27.10.2013 r.
Dzień tygodnia	Środa	Niedziela	Środa	Niedziela
Minimum	0	0	0	0
Maksimum	4 890	3 390	4 780	4 700
Rozstęp	4 890	3 390	4 780	4 700
Średnia	796,6644	465,7160	751,8523	465,9703
Skuteczna	1 097,4965	677,2667	939,7779	606,611
Mediana	640	350	600	340
Odchyl. stand.	754,8715	491,7333	563,8300	388,3946
Wariancja	569 830,9330	241 801,5916	317 904,2403	150 850,3720
Skośność	1,0120	1,2336	1,1094	1,7856
Kurtozą	3,7947	4,6494	4,2035	7,9198
Wsp. kształt.	1,3776	1,4542	1,2500	1,3018
Wsp. szczyt.	4,4556	5,0054	5,0863	7,7480
Wsp. eks.	6,1381	7,2791	6,3576	10,0865

Źródło: oprac. własne.

„Nowa Huta” zasilają zajeżdnię tramwajową. Prace naprawcze, eksploatacyjne bądź manewrowe powodują, że prawie nieprzerwanie – przez całą dobę – na terenie zasilanym przez zespoły prostownikowe te same podstacje przemieszczają się pojazdy trakcyjne pobierające z niej energię. Fakt ten jest szczególnie widoczny na przedstawionym w dalszej części artykułu wykresie skrzynkowym (rys. 10).

W celu podniesienia jakości analiz statystycznych warto byłoby zwiększyć częstotliwość próbkowania. Wynika to ze specyfiki metod statystycznych i – w konsekwencji – działania komputerowych programów do analiz statystycznych wymagających dużej ilości danych. Aby spełnić te oczekiwania, należy zwiększyć częstotliwość próbkowania w czasie pomiarów, np. do 2 kHz (co jest zalecane przez normę [12]).

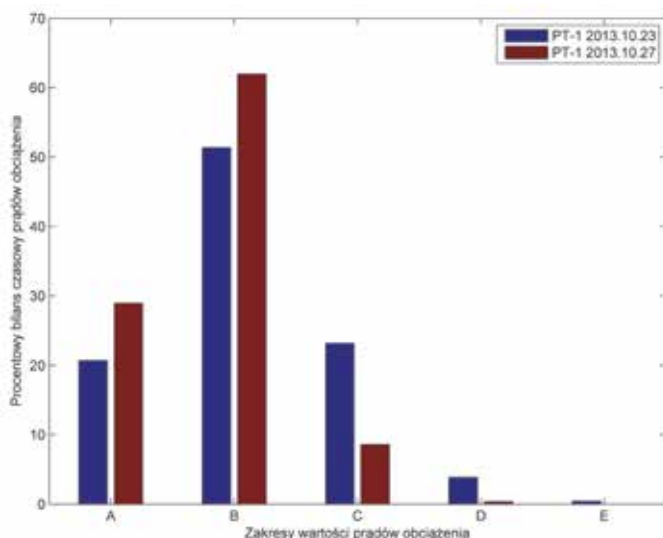
Na rys. 6 i 7 przedstawiono wykresy słupkowe, odzwierciedlające bilanse czasowe występowania obciążeń trakcyjnych dla przebiegów przedstawionych na rys. 2 i 3. W tym przypadku wyniki pomiarów uporządkowano z uwzględnieniem parametrów

znamionowych zespołów prostownikowych, stanowiących wyposażenie badanych podstacji.

Literą A oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia O A (czyli brak obciążenia). Literą B oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż O A i nie większych niż obciążenie długotrwałe 1 zespołu prostownikowego (tu: $0 A < I_{obc} \leq 1,2 \text{ kA}$). Literą C oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż prąd obciążenia długotrwałego jednego zespołu prostownikowego i nie większych niż obciążenie długotrwałe 2 zespołów prostownikowych (tu: $1,2 \text{ kA} A < I_{obc} \leq 2,4 \text{ kA}$). Literą D oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż prąd obciążenia długotrwałego 2 zespołów prostownikowych i nie większych niż obciążenie długotrwałe 3 zespołów prostownikowych (tu: $2,4 \text{ kA} A < I_{obc} \leq 3,6 \text{ kA}$). Literą E oznaczono bilans czasowy występowania obciążenia o wartościach większych niż prąd obciążenia długotrwałego 3 zespołów prostownikowych i nie większych niż obciążenie długotrwałe 4 zespołów prostownikowych (tu: $3,6 \text{ kA} A < I_{obc} \leq 4,8 \text{ kA}$).

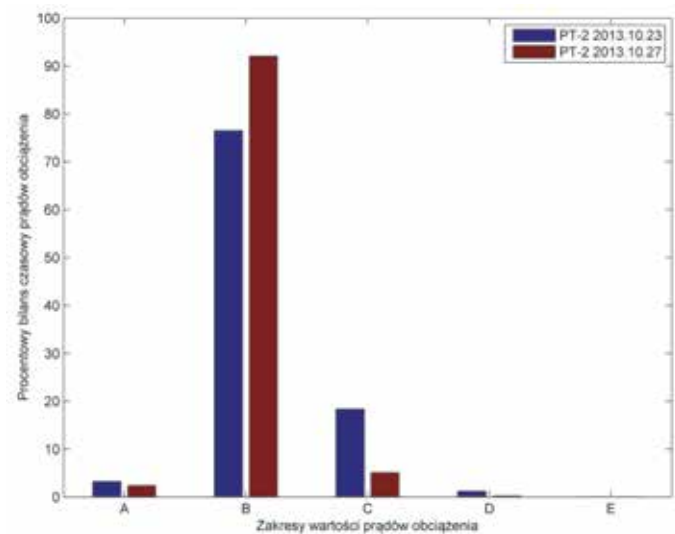
Wykresy powyższe (rys. 6 i 7) wyraziście wskazują na różnicowany charakter obciążenia obu podstacji trakcyjnych. Przykładowo bilans czasowy A dla podstacji PT-1 pokazuje, że przez ok. 20% czasu w skali doby (ok. 4,8 godz.) w dzień powszedni zespoły prostownikowe nie są obciążone, natomiast w przypadku podstacji PT-2 nie ma obciążenia przez ok. 3% czasu (ok. 0,72 godz.). Bilans czasowy B dla podstacji trakcyjnej PT-1 pokazuje, że przez ok. 51% czasu w skali doby (przez ok. 12,24 godz.) w dzień powszedni do zasilania obciążeń wystarczyłoby 1 zespół prostownikowy i to w zakresie prądów nie większych niż obciążenie długotrwałe; podobnie 1 zespół prostownikowy wystarczyłoby do zasilania obciążeń w przypadku podstacji PT-2, ale przez ok. 77% czasu w skali doby (18,48 godz.).

Na podstawie omawianych wykresów można ocenić teoretyczny czas zapotrzebowania w podstacjach trakcyjnych (PT-1 i PT-2) na 1 zespół prostownikowy (bilans B), na 2 (bilans C), 3 (bilans D) i 4 (bilans E) zespoły prostownikowe – tak w dzień powszedni, jak i w dzień świąteczny. Jak zaznaczono na wstępie, prezentowane wyniki dotyczą tylko 2 dni w skali roku (ok. 0,55% czasu); poza tym nie wzięto pod uwagę bilansowania obciążeń



Rys. 6. Procentowy bilans czasowy chwilowych wartości prądów obciążenia tramwajowej podstacji trakcyjnej „Czyżyny”

Źródło: oprac. własne.



Rys. 7. Procentowy bilans czasowy chwilowych wartości prądów obciążenia tramwajowej podstacji trakcyjnej „Nowa Huta”

Źródło: oprac. własne.

z uwzględnieniem możliwości przeciążania zespołów prostownikowych i dlatego też nie podjęto się sformułowania bardziej wyrazistych tez, a tym bardziej wniosków.

Na poniższych rysunkach pokazano wyniki przeprowadzonej analizy z użyciem teorii szeregów czasowych [1] zarejestrowanych obciążeń podstacji trakcyjnej „Czyżyny” w dniu 23.10.2013 r. Na rys. 8 i 9 otrzymaliśmy, zgodnie z wcześniejszymi publikacjami autorów [5, 9], przebiegi autokorelacji i autokorelacji cząstkowej.

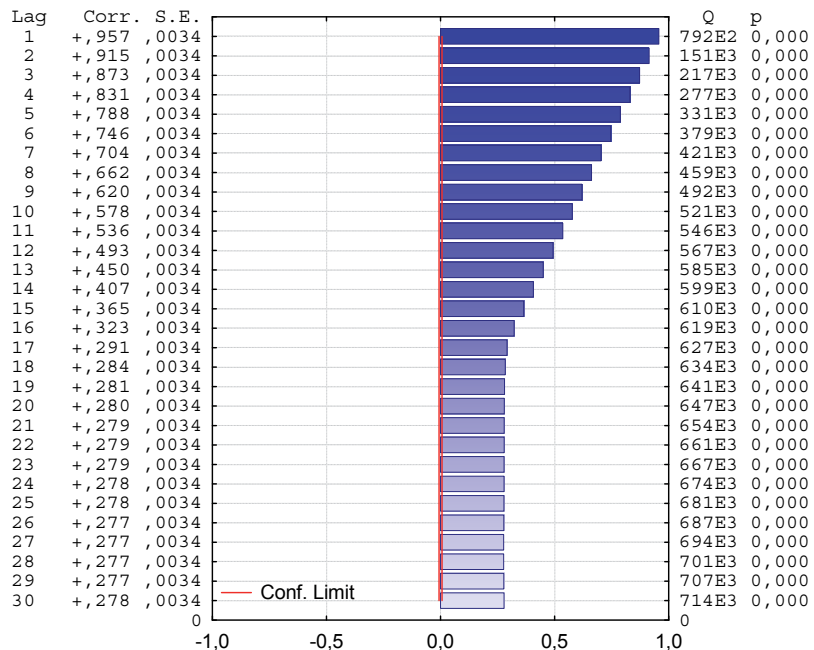
Wykresy te pokazują, że dla analizowanego przypadku występuje bardzo duża zmienność obciążenia podstacji trakcyjnej. Okazało się, że badanie obciążenia całej doby podstacji trakcyjnej, która w określonych godzinach nocnych jest obciążona w najmniejszym zakresie, uwidacznia się w specyficie otrzymanych przebiegów. Od godziny 1.00 zmniejsza się wartość zarejestrowanego obciążenia PT „Czyżyny”, aby ok. od godziny 4.00 zaczęło się ono zwiększać (co można zaobserwować na rys. 2). Jest to spowodowane przerwą technologiczną w ruchu pojazdów trakcyjnych na obszarze zasilania z tejże podstacji. Fakt ten powoduje, iż zastosowanie do analizy teorii szeregów czasowych nie pozwala na jednoznaczną interpretację otrzymanych tą metodą wyników. To zjawisko uwidacznia się na rys. 9, ilustrującym przebieg autokorelacji cząstkowej analizowanego obciążenia dobowego podstacji trakcyjnej.

Na kolejnym rysunku (nr 10) przedstawiono porównanie obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych z wykorzystaniem wykresów skrzynkowych dla każdego przypadku. Tzw. „skrzynka” obrazuje 50% punktów pomiarowych [10]. Symbol znajdujący się wewnątrz „skrzynki” wyznacza położenie mediany, czyli wartości dzielącej zbiór punktów pomiarowych na 2 równe części. 2 skrajne linie poziome wykresu wyznaczają wartości minimalne i maksymalne.

W szczególności wykresy A i B dotyczą podstacji PT-1, odpowiednio w dzień roboczy (A) i dzień świąteczny (B), a wykresy C i D dotyczą podstacji PT-2, również w dzień roboczy (C) i dzień świąteczny (D). Taki sposób prezentacji wyników pozwala w prosty (optyczny) sposób ocenić różnice lub podobieństwa w specyficie zakresu zmienności prądów obciążeń obu podstacji. Na przykład w dzień świąteczny (wykresy B i D) obie podstacje na cele trakcyjne zużywają podobną ilość energii (tab. 1) – prądy średnie są prawie równe i wynoszą ok. 466 A. Natomiast zróżnicowany wygląd obu wykresów (rys. 10) wskazuje na inny zakres zmienności prądów obciążeń każdej podstacji.

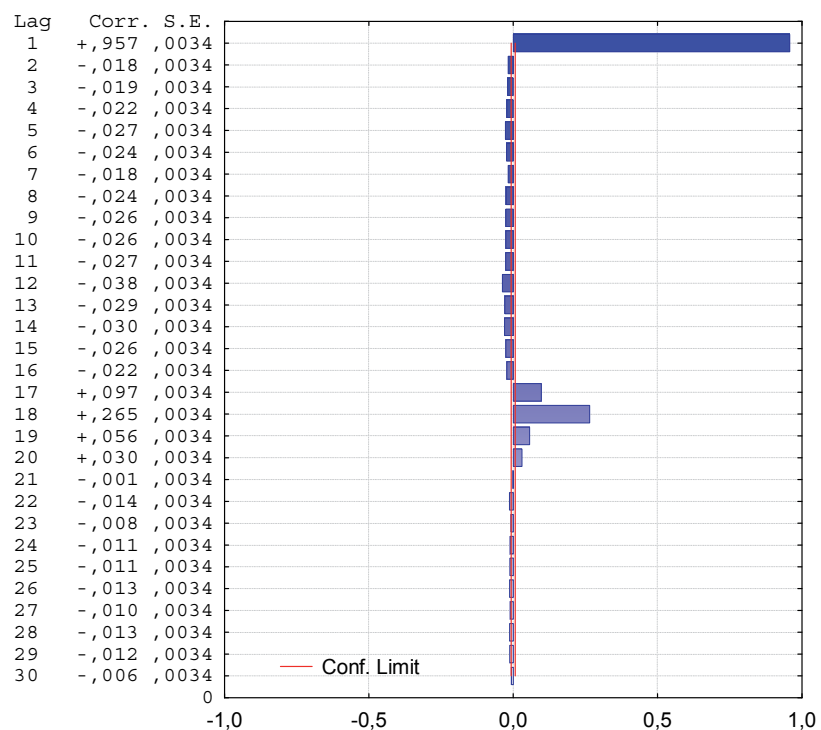
Uwagi końcowe

W oparciu o przedstawione wyniki pomiarów i analiz można sformułować pewne uwagi. Jak wspomniano na wstępie, brane do analizy wyniki dotyczyły sytuacji rzeczywistej eksploatacji. Nie miały więc charakteru akademickiego, dopuszczającego czasami pewne założenia upraszczające.



Rys. 8. Funkcja autokorelacji obciążeń tramwajowej podstacji trakcyjnej „Czyżyny” w dniu 23.10.2013 r.

Źródło: oprac. własne.

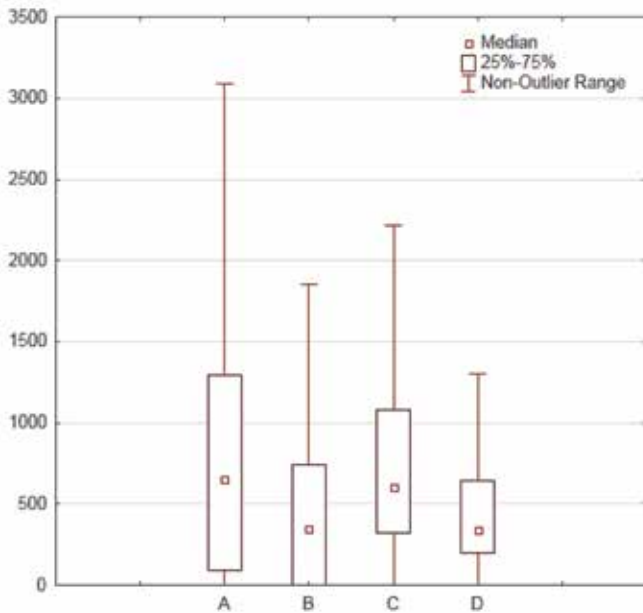


Rys. 9. Funkcja autokorelacji cząstkowej obciążeń tramwajowej podstacji trakcyjnej „Czyżyny” w dniu 23.10.2013 r.

Źródło: oprac. własne.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i analiz można stwierdzić, że:

- obciążenia (prądy) analizowanych podstacji trakcyjnych charakteryzują się znaczną zmiennością w skali doby;
- wyposażenie obu podstacji trakcyjnych w zespoły prostownikowe jest zrealizowane ze znaczną rezerwą;



Rys. 10. Porównanie obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych: A) PT-1 23.10.2014 r.; B) PT-1 27.10.2013 r.; C) PT-2 23.10.2013 r.; D) PT-2 27.10.2013 r.

Źródło: oprac. własne.

- różnice w zakresie i charakterze obciążeń obu analizowanych podstacji trakcyjnych nie wpływają na końcową ocenę zakresu przewymiarowania mocy znamionowej zespołów prostownikowych;
- w bilansie czasowym obciążeń, szczególnie w przypadku podstacji PT-1, zwraca uwagę znaczny udział braku obciążeń (bieg jałowy transformatorów prostownikowych).

Przedstawione w artykule różne sposoby analizowania obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych dają zbieżne wyniki. Zdywersyfikowane sposoby prezentacji wyników pozwalają z różnych punktów widzenia ocenić zakres i charakter zmienności tych obciążeń. W tej chwili autorzy niniejszego artykułu, jak można zauważyć, szczególnie zainteresowani są zakresem (skala) wykorzystania mocy zainstalowanych zespołów prostownikowych na podstacjach trakcyjnych. Związane jest to m.in. z głoszonym od dawna przez autorów postulatem o potrzebie podjęcia skutecznych działań związanych z udoskonaleniem metod projektowania podstacji trakcyjnych.

Przeprowadzenie analiz dla większej ilości podstacji – z dodatkowym uwzględnieniem danych dotyczących np. taboru, profilu tras, odległości międzyprzystankowych, rozkładów jazdy – pozwoliłoby w szerszym zakresie formułować uwagi dotyczące poprawności doboru wyposażenia, w tym przypadku – tramwajowych podstacji trakcyjnych. Takie badania wymagałyby jednak dodatkowych środków (ze względu na zaangażowanie czasowe zespołów badawczych) oraz zakupu aparatury pomiarowej, pozwalającej na dokonywanie pomiarów z wyższą częstotliwością niż ma to miejsce w chwili obecnej.

Bibliografia:

1. Box G. E. P., Jenkins G. M., *Analiza szeregów czasowych. Prognozowanie i sterowanie*, Polskie Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.
2. Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik I., *Trakcja elektryczna prądu stałego. Układy zasilania, „Podręcznik INPE dla Elektryków”* 2009, z. 27.

3. *Dokumentacja podstacji tramwajowej nr „01” („Czyżyny”)*, materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie.
4. *Dokumentacja podstacji tramwajowej nr „02” („Nowa Huta”)*, [materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie].
5. Drapik S., Kobielski A., Prusak J., *Fluktuacja obciążeń podstacji trakcyjnych w ujęciu teorii szeregów czasowych*, „Technika Transportu Szynowego” 2010, nr 7–8.
6. Drapik S., Kobielski A., Prusak J., *Selected issues of traction substation load variability*, [In:] K. Karwowski, A. Szelağ (Eds.), *Modern Electric traction. Power Supply*, Gdańsk University of Technology, Gdańsk 2009.
7. Drapik S., Kobielski A., Prusak J., *Wybrane aspekty zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych*, „Technika Transportu Szynowego” 2010, nr 4.
8. Kałuża E., Bartodziej G., Ginalski Z., *Układy zasilania i podstacje trakcyjne*, Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985.
9. Kobielski A., Drapik S., Dudzik M., Prusak J., *Time series as an aid to research of traction substation load*, SPEEDAM 2012, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Sorrento 20–22 June 2012.
10. Malarska A., *Statystyczna analiza danych wspomagana SPSS-em*, Wydawnictwo SPSS Polska, Kraków 2005.
11. Mierzejewski L., Szelağ A., Gałuszewski M., *System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
12. PN-EN-50162:1995 *Zastosowania kolejowe. Napięcia zasilające systemów trakcyjnych*.
13. Polska Norma PN-IEC 146-1-1+AC: *Przekształtniki półprzewodnikowe. Wymagania ogólne i przekształtniki o komutacji sieciowej. Wymagania podstawowe*.
14. *Wyniki pomiarów prądów obciążeń trakcyjnych kabli zasilających podstacji tramwajowej nr „01” („Czyżyny”)* [materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie].
15. *Wyniki pomiarów prądów obciążeń trakcyjnych kabli zasilających podstacji tramwajowej nr „02” („Nowa Huta”)* [materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie].

Autorzy:

Sławomir Drapik – niezależny specjalista

Adrian Kaczmarczyk – niezależny specjalista

Andrzej Kobielski – Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych

Janusz Prusak – Politechnika Krakowska, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem

Character of load variability of tram traction substations, that supplies lines with different specificity of traffic

This paper presents load currents of two tram traction substations. Those substations supply lines with different specifics of traffic. Were analyzed loads for one working day and one public holiday. Attention has been paid to the differences and similarities of variability of currents. Evaluated range of the demand for rectifier units in substations. Was used among others method of time series, and mostly analysis of autocorrelation and partial autocorrelation of characteristics, as rate of character of analyzed processes variability.