

ANALIZA WARTOŚCI MOCY UMOWNEJ PODSTACJI TRAKCYJNEJ

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analizy wartości mocy umownej wybranej podstacji trakcyjnej. Ponadto zaprezentowano metodę minimalizacji kosztów energii elektrycznej, w zależności od wartości mocy zamawianej przez dyspozytora na daną podstację.

WSTĘP

Charakterystyczne fazy jazdy pojazdów trakcyjnych powodują, że system zasilania metra charakteryzuje się dużą nierównomiernością poboru mocy. Wynika to z faktu, że w fazie rozruchu pociągi pobierają z sieci trakcyjnej prąd o bardzo dużej wartości. Po zakończeniu rozruchu przechodzą następnie do fazy jazdy wybiegiem. W tym okresie prąd pobierany jest w celu zapewnienia potrzeb własnych pojazdu trakcyjnego. Natomiast w trakcie hamowania pociągi praktycznie nie pobierają mocy z sieci trakcyjnej, a pojazdy wyposażone w system hamowania odzyskowego stają się źródłem energii elektrycznej.

Nierównomierny stopień obciążenia podstacji jest niekorzystny ze względu na konieczność takiego przewymiarowania systemu zasilania, aby można było obsłużyć wszystkie przypadki, w tym skrajne występujące np. podczas jednoczesnego „startu” dwóch pociągów zasilanych z tej samej podstacji. Wówczas w takim przypadku pojawia się impuls prądowy odpowiadający podwójnej wartości mocy pobieranej z sieci trakcyjnej. W takim przypadku udział w zasilaniu mają również sąsiednie podstacje trakcyjne, jednak nie na tyle duży aby wyeliminować problem sumowania się prądów rozruchu.

W pracy zaprezentowano wyniki pomiarów napięcia i prądu, przeprowadzonych na jednej z podstacji II linii metra, po stronie prądu stałego i scharakteryzowano obowiązujący system rozliczeń z tytułu opłat za energię elektryczną obowiązujący na danej podstacji. Ponadto przedstawiono metodę minimalizacji kosztów energii elektrycznej, opartą na doborze wielkości mocy zamawianej dla danej podstacji.

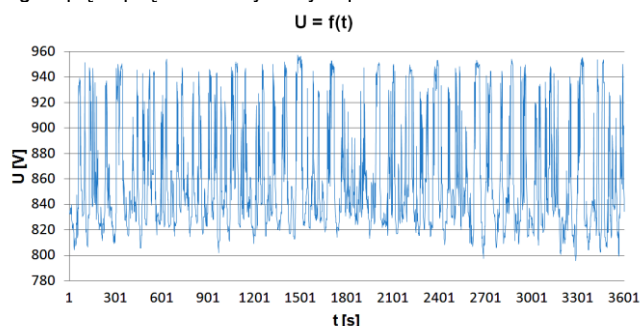
1. POMIARY NAPIĘCIA PODSTACJI I PRĄDU JEJ OBCIĄŻENIA

Pomiary napięcia podstacji i prądu obciążenia wykonywane zostały na podstacji linii metra przy pomocy multimetrów cyfrowych Sanwa PC5000 i Protec 506 podłączonych do przetworników napięcia (Widok stanowiska pomiarowego rys. 1). Mierniki podłączone zostały poprzez łącze RS oraz USB do komputera. Następnie mierzono jednocześnie wartości prądu i napięcia podstacji w jednakowych odstępach czasu. Interwał próbkowania pomiarów wynosił 1s.

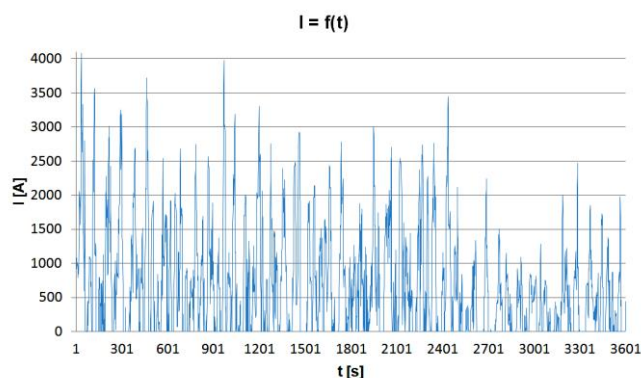


Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego do rejestracji napięć i prądów podstacji

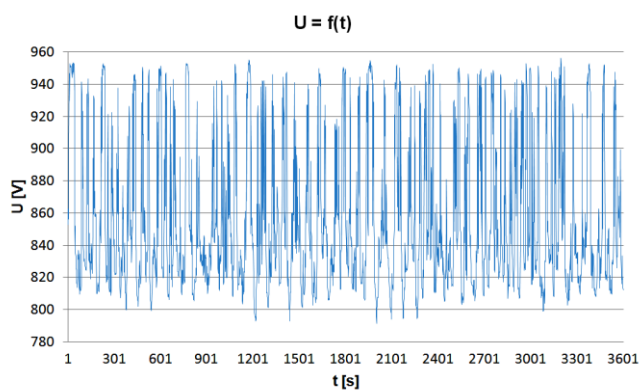
Poniżej przedstawiono wyznaczone w trakcie pomiarów przebiegi napięć i prądów dla wybranych przedziałów czasu.



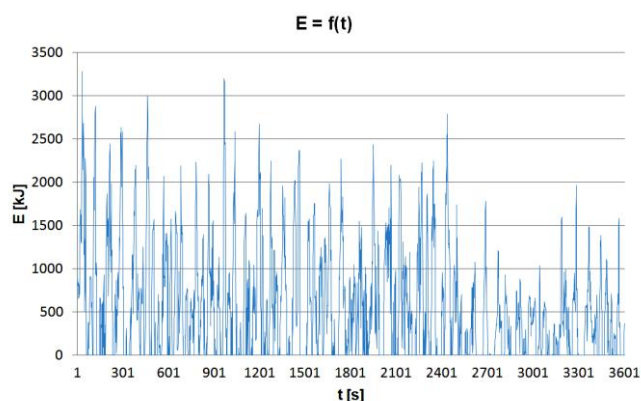
Rys. 2. Wykres wahań napięcia w funkcji czasu dla pomiaru przeprowadzonego w przedziale czasowym od godziny 9.30.00 do 10.30.00



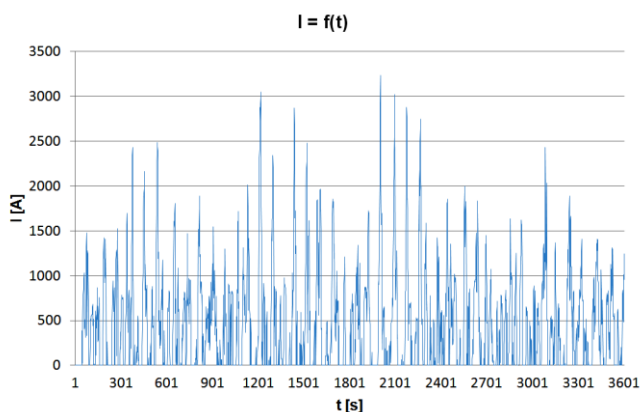
Rys. 3. Wykres prądu podstacji w funkcji czasu dla pomiaru przeprowadzonego w przedziale czasowym od godziny 9.30.00 do 10.30.00



Rys. 4. Wykres wahań napięcia w funkcji czasu dla pomiaru przeprowadzonego w przedziale czasowym od godziny 9.30.00 do 10.30.00



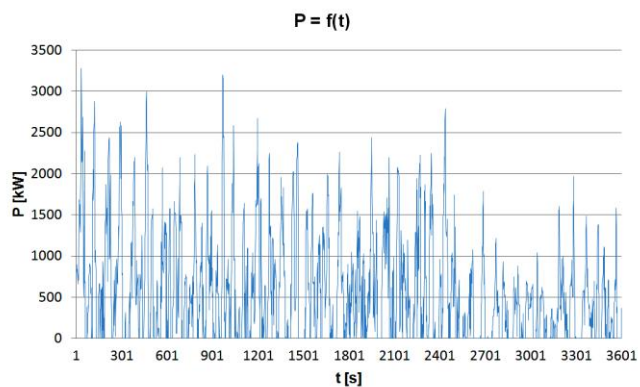
Rys. 7. Wykres energii w funkcji czasu dla pomiaru realizowanego w przedziale czasowym od godziny 9.30.00 do 10.30.00



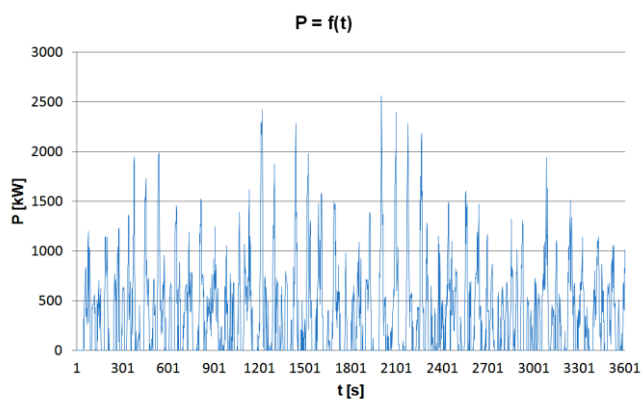
Rys. 5. Wykres prądu podstawicy w funkcji czasu dla pomiaru przeprowadzonego w przedziale czasowym od godziny 12.00.01 do 13.00.01

Wykorzystując wartości napięć i prądów z pomiarów wyznaczono wartości mocy podstawicy oraz energii pobieranej z podstawicy. Do obliczeń wykorzystano wyniki pomiarów przeprowadzonych przy tej samej intensywności ruchu pociągów [2] (częstotliwość pomiarów wynosiła 5 – 6 minut) w odcinkach czasowych 9.30.00 – 10.30.00 i 12.00.01 – 13.00.01.

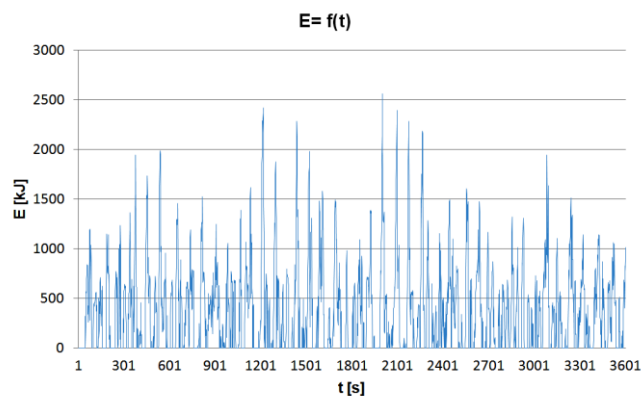
Obliczenia energii dostarczanej do sieci trakcyjnej przez podstawicę prowadzono przy założeniu upraszczającym, zakładającym, iż wartości prądów i napięć w poszczególnych przedziałach jedno-sekundowych pomiędzy pomiarami nie zmieniają się. Na rysunkach 6 ÷ 8 przedstawiono wykresy wyznaczonych mocy i energii.



Rys. 6. Wykres mocy w funkcji czasu dla pomiaru realizowanego w przedziale czasowym od godziny 9.30.00 do 10.30.00



Rys. 8. Wykres energii w funkcji czasu dla pomiaru realizowanego w przedziale czasowym od godziny 12.00.01 do 13.00.01



Rys. 9. Wykres energii w funkcji czasu dla pomiaru realizowanego w przedziale czasowym od godziny 12.00.01 do 13.00.01

2. METODYKA OBLICZANIA KOSZTÓW ENERGII W WARUNKACH METRA

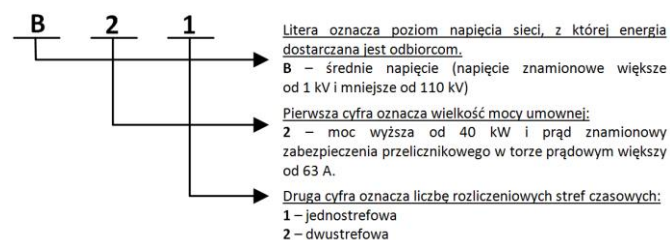
Na koszt energii elektrycznej w metrze wpływ mają trzy główne składniki: koszt mocy zamawianej na podstawicę zwanej mocą umowną, koszt wynikający z tytułu przekroczenia mocy w stosunku do mocy umownej oraz koszt energii pobranej, wynikający ze wskazań licznika energii elektrycznej.

Moc umowna jest to moc czynna pobierana z sieci, definiowana jako wartość maksymalna wyznaczana w każdej godzinie okresu rozliczeniowego ze średnich wartości tej mocy w okresach piętnasto-minutowych [3]. Moc umowna zamawiana jest w jednakowej wysokości na wszystkie miesiące roku. W sytuacji, gdy zostanie przekroczona

moc umowna, to wówczas dostawca energii nalicza opłaty z tego tytułu. Za przekroczenie wg taryfy [3] przyjmuje się sumę dziesięciu największych wielkości nadwyżek mocy pobranej ponad moc umowną piętnasto minutową, wyznaczonych, jako maksymalne w cyklach godzinowych (uwzględnia się przekroczenia i sumuje się je).

2.1. Taryfa energii elektrycznej RWE Stoen Operator Sp. z o.o.

W przypadku podstacji metra, zaopatrywanych w energię przez RWE Stoen Operator Sp. z o.o. obowiązuje taryfa B21. Poniżej przedstawiono sposób konstrukcji oznaczenia tej grupy taryfowej.



Rys. 10. Sposób konstrukcji oznaczeń grupy taryfowej [3]

Obowiązującą taryfą jest taryfa jednostrefowa, co oznacza, że koszt energii elektrycznej nie zmienia się w ciągu całej doby oraz całego roku kalendarzowego.

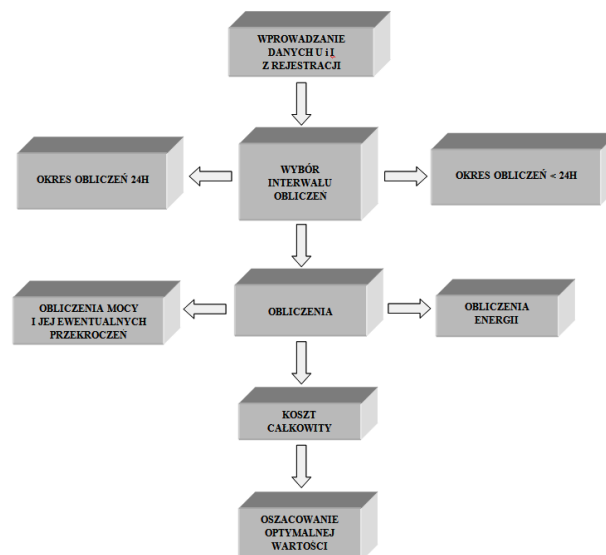
Liczniki energii elektrycznej stosowane na podstacjach w metrze warszawskim wykorzystywane są do pomiaru energii, mocy chwilowych oraz napięć, prądów i częstotliwości w sieciach o jednokierunkowym lub dwukierunkowym przepływie energii.

Do funkcji podstawowych liczników należy m.in.: pomiar, rejestracja i wyświetlanie wartości energii elektrycznej trójfazowej czynnej i biernej. Natomiast w przypadku mocy istnieje możliwość pomiaru w piętnasto, trzydziesto lub sześćdziesięciu minutowych cyklach uśredniania mocy czynnej i biernej dla kierunku pobór i oddawanie. Ponadto liczniki dokonują również pomiaru, rejestracji oraz wyświetlania ilości przekroczeń mocy w stosunku do wprowadzonej do pamięci licznika mocy zamówionej.

2.2. Program do obliczeń kosztów energii zgodnie z taryfami obowiązującymi na podstacjach

W celu oszacowania, jaka byłaby najkorzystniejsza wielkość mocy zamawianej w przypadku podstacji trakcyjnej metra, zaadoptowano aplikację opisaną w pracy [1], która odwzorowuje opisany wyżej sposób obliczania należności za energię elektryczną. Algorytm modelu obliczeń energii zaimplementowany w środowisku Matlab przedstawiony został na rysunku 11.

Na podstawie uzyskanych rejestracji napięć i prądów na podstacji program wyznacza średnie piętnastominutowe wartości mocy z określeniem ewentualnych przekroczeń mocy w stosunku do mocy zamawianej na podstację (zgodnie z taryfą dostawcy). Oblicza również koszty mocy zamawianej wraz z kosztami wynikającymi z przekroczenia mocy, a także koszty energii elektrycznej, wynikające ze wskazań licznika. Suma powyższych składowych stanowi całkowity koszt energii elektrycznej. W programie nie uwzględniono kosztów energii potrzeb własnych podstacji.



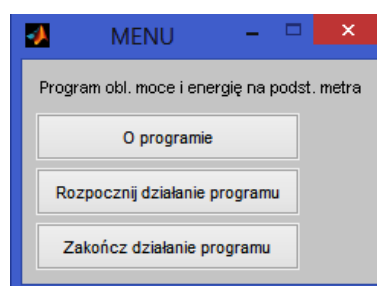
Rys. 11. Algorytm modelu obliczeń energii

Aplikacja uwzględnia specyfikę taryfy B21 [3]. W programie koszt energii elektrycznej za 1 kWh jest stały niezależnie od danej pory roku czy godziny. Koszty energii uwzględniają składowe obroty, takie jak: koszt energii czynnej, opłatę rozliczeniową, a także stały składnik stawki sieciowej, opłatę przejściową, dystrybucyjną zmienną i opłatę abonamentową.

Program składa się z programu głównego o nazwie „moce i energia podstacji” oraz z trzech programów zewnętrznych (listing programów załącznik nr 1).

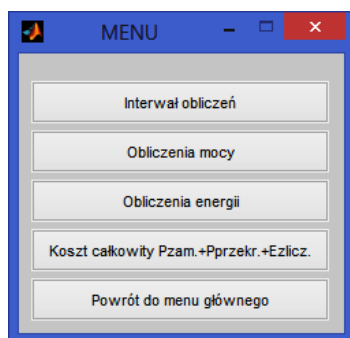
Program „rejestracja U” i „rejestracja I” - zawiera przebiegi czasowe napięć i prądów uzyskanych z rejestracji przeprowadzonej w podstacji metra po stronie prądu stałego. Drugi program o nazwie „moce” wyznacza moce piętnasto minutowe i ewentualne przekroczenia mocy w stosunku do mocy zamówionej. Natomiast trzeci program „energia okres” oblicza energię za wybrany okres rejestracji przy uwzględnieniu taryfy B21.

Poniżej przedstawiono zostały zrzuty ekranowe programu wyznaczającego łączny koszt energii w zależności od wartości mocy zamawianej na daną podstację.



Rys. 12. Okno główne programu

Okno główne programu (rys. 12) zawiera menu „Rozpocznij działanie programu”, z opcjami przedstawionymi na rys. 13.



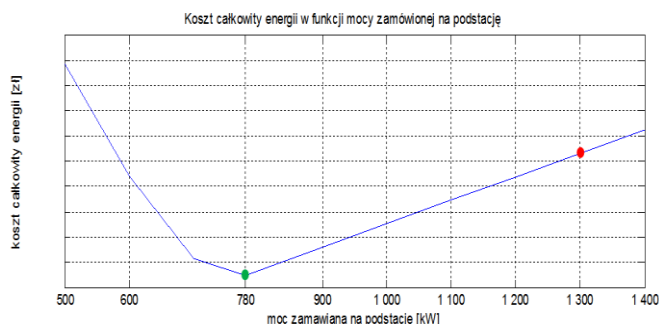
Rys. 13. Menu „Rozpocznij działanie programu”

Menu „Interwał obliczeń” daje możliwość wyboru przedziału czasowego, dla którego mają zostać wykonane obliczenia. Program umożliwia również sprawdzenie wpływu zmian wartości mocy zamawianej na koszt całkowity energii dla danej podstacji. Można wprowadzić do dziesięciu różnych wartości mocy zamówionej. Dla każdej z tych wartości oddzielnie jest wyznaczany całkowity koszt energii elektrycznej.



Rys. 14. Menu „Obliczenia mocy” oraz menu „Całkowity koszt energii”

Ostatecznie program dokonuje wyboru takiej wartości mocy zamawianej, przy której łączny koszt energii elektrycznej będzie najmniejszy. Ponadto zależność całkowitego kosztu energii w funkcji mocy zamówionej jest przedstawiana w postaci graficznej.



Rys. 15. Wykres zależności całkowitego kosztu energii w zależności od mocy zamówionej na wybraną podstację

Z wykresu dla badanej podstacji przedstawionego na rys. 15 wynika, że najkorzystniejszą wartością mocy zamówionej jest wartość 780 kW przy poziomie mocy umownej rozpatrywanej podstacji II linii metra 1300 kW. Różnica kosztów energii przy obecnie zamawianym poziomie mocy i wartości wskazanej przez program, jako najkorzystniejsza wynosi około 36 %. Tak znaczna różnica wartości może wynikać m.in. z faktu, że pomiary zostały wykonane przy mniejszej częstotliwości kursowania pociągów oraz ze względu na to, że na jednej z sąsiednich podstacji zainstalowany jest superkondensatorowy zasobnik energii.

PODSUMOWANIE

Problematyka określania odpowiedniego poziomu mocy umownej jest szczególnie istotna w przypadku dużych odbiorców, pracujących ze zmienną wartością obciążenia [4]. Zbyt asekuracyjne zamawianie mocy na podstację powoduje, że w efekcie wysokich kosztów energii elektrycznej, składników zależnych od mocy zamawianej bilans korzyści finansowych jest niekorzystny. Wynika to z faktu, że wówczas koszt będzie wyższy od ewentualnych kosztów związanych z przekroczeniami mocy w stosunku do mocy zamawianej. Nasuwa się więc wniosek, że przy zamawianiu mniejszej mocy umownej, występowanie przekroczeń mocy generuje dodatkowe koszty, jednak ich łączna wartość, na którą złożą się koszty przekroczenia mocy umownej i niższy koszt mocy umownej, będzie mniejsza. W związku z tym opracowano metodykę wyznaczania najkorzystniejszej wartości mocy zamawianej, uwzględniając warunki istniejącego systemu rozliczeń metra z dostawcą energii elektrycznej. Na jej podstawie stworzono aplikację, określającą łączny koszt energii elektrycznej w funkcji mocy zamawianej dla danej podstacji trakcyjnej, dla różnych wartości mocy umownej i przy uwzględnieniu rzeczywistych rejestracji prądów i napięć dla danej podstacji. Z wykonanych obliczeń wynika, że najwłaściwszą strategią zamawiania mocy będzie zamawianie takiej jej wartości, przy której występują niewielkie przekroczenia. Wynika to z systematyki obliczeń przekroczeń mocy w stosunku do mocy zamawianej na podstację, nieuwzględniającej wszystkich wartości występujących przekroczeń. Ponadto zasobnik superkondensatorowy zainstalowany na jednej z sąsiednich podstacji wspomaga również badaną podstację.

BIBLIOGRAFIA

1. Krawczyk G.: Ocena efektywności zastosowania zasobników w systemie zasilania linii metra. Rozprawa doktorska. Politechnika Radomska 2012.
2. Internet, <http://www.metro.waw.pl/pliki/rozklady/RJ%20M2%20przystankowy%20Wrzesien%202015.pdf>
3. Internet, <http://www.rwestoenoperator.pl/web/cms/media-blob/pl/2668726/data/1639898/1/o-rwe-stoen-operator/taryfa/Taryfa-dla-dystrybucji-energii-elektrycznej-RWE-Stoen-Operator-Sp.-z.o.o.-obowiazujaca-od-1-stycznia-2015-r.-pdf>
4. E. Szycha, M. Luft, G. Krawczyk, J. Kozyra, E. Serafin, Z. Olczykowski, R. Wilanowicz, J. Wojciechowski, R. Dziocha: Odbiorniki dużych mocy w systemie elektroenergetyczny. Praca badawcza nr 3162/46/P.

ANALYSIS OF VALUES ORDERED CAPACITY TO THE TRACTION SUBSTATION

Abstract

Paper discussed the results of the analysis ordered capacity of the selected traction substation. In addition, was presented a method of minimizing the cost of electricity, depending on the ordered capacity by the dispatcher for the substation.

Autorzy:

dr inż. **Grzegorz Krawczyk** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Systemów Transportowych i Elektrotechniki, Zakład Elektrotechniki i Energetyki, mail: g. krawczyk@uthrad.pl