

ANALIZA OBCIĄŻEŃ ZESPOŁÓW PROSTOWNIKOWYCH PRZED I PO WYSTĄPIENIU PRZECIĄŻENIA NA PRZYKŁADZIE WYBRANEJ TRAMWAJOWEJ PODSTACJI TRAKCYJNEJ

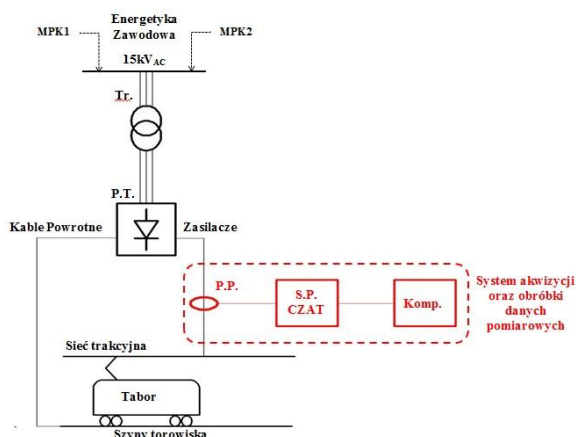
Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki analizy obciążeń tramwajowej podstacji trakcyjnej. W szczególności wzięto pod uwagę dwa dni robocze i dwa dni świąteczne. Kryterium wyboru polegało na tym, aby znaleźć dni najbardziej i najmniej obciążone spośród 112 dni, dla których dokonano pomiarów. Uwagę w tym przypadku zwrócono na wartość przeciążenia 5-cio minutowego, oraz na obciążenia występujące przed i po tym przeciążeniu. Uzyskane wyniki powinny być pomocne m.in. przy ocenie termicznych warunków pracy zespołów prostownikowych.

WSTĘP

Znajomość przeciążeń długoterminowych i krótkoterminowych jest w szczególności podstawą do wyboru ilości zespołów prostownikowych dla projektowanych podstacji trakcyjnych [3][16][23]. Zespoły prostownikowe składają się z dwóch niezależnych urządzeń tj. transformatora i prostownika diodowego. Urządzenia te są jednym z bardziej kosztownych elementów wyposażenia (tak w sensie zakupu jak i eksploatacji) instalowanego w obwodzie układu zasilania. Z tego powodu prawidłowy dobór zespołów o odpowiednich parametrach jest podstawowym zadaniem w praktyce projektowej.

Dysponując wynikami pomiarowymi można sprawdzić m.in. jak kształtują się obciążenia przed i po wystąpieniu przeciążenia w rozpatrywanym interwale czasowym. Ewentualne prawidłowości mogą być argumentem w dyskusji dotyczącej modyfikowania metod projektowych, lub definiowania wymagań dla projektantów wyposażenia podstacji trakcyjnych DC (tu tramwajowych). Znaczne przewymiarowanie mocy zespołów prostownikowych w zbadanych, przez autorów niniejszego opracowania [1][2][4][7][8][9][10][11][12][14][19][20][21], podstacjach trakcyjnych wskazuje na potrzebę przeprowadzenia rozważań również w tym zakresie, gdyż wartości tych obciążeń mają bezpośredni wpływ na zjawiska termiczne w czasie przeciążenia, jak i w okresach przed i po jego wystąpieniu.



Rys. 1. Uproszczony schemat pomiaru prądu po stronie DC podstacji trakcyjnej.

Znaczne ilości danych uzyskiwanych w czasie pomiarów, jak również ich porządkowanie oraz przeprowadzanie analiz w interesującym zakresie tematycznym jest możliwe tylko dzięki wykorzystaniu sprzętu komputerowego.

Na rysunku 1 oznaczono:

MPK1, MPK2 – przyłącza do energetyki zawodowej

Tr. – Transformator trakcyjny,

P.T. – Prostownik Trakcyjny,

P.P. – Przetwornik pomiaru prądu (w przypadku sterownika PKP ELESTER CZAT jest to boczny pomiarowy, w innych wypadkach może być to przekładnik prądowy z możliwością pomiaru składowej DC),

S.P. CZAT – System pomiarowy CZAT,

Komp. – Komputer służący do obróbki (statystycznej, matematycznej, graficznej) danych z zainstalowanym odpowiednim oprogramowaniem.

Sterowniki obiektowe CZAT jest to system urządzeń automatyki rozproszonej. System ten jest używany w automatyce obiektów elektroenergetycznych zarówno kolejowych jak i tramwajowych. Na podstacjach trakcyjnych swoje zastosowanie znajduje w rozdzielni prądu stałego (RPS), rozdzielni średniego napięcia (RSN), rozdzielni potrzeb własnych (PW). System CZAT ma budowę modułową. W skład podstawowej wersji systemu wchodzi:

1. Moduł jednostki centralnej – moduł kontrolę, diagnostykę oraz komunikację z zewnętrznym systemem zdalnego sterowania.
2. Moduł Digital Input Unit – moduł wejść cyfrowych odpowiedzialny jest za wprowadzanie sygnałów wejściowych do całego systemu.
3. Moduł Digital Output Unit – moduł wyjść cyfrowych realizuje sterowanie urządzeniami zewnętrznymi.
4. Moduł zasilacza.

Dodatkowo niektóre podstacje trakcyjne zostają wyposażone w moduł pomiarowy wysokiego napięcia (HVM). Przeznaczony jest on do pomiaru napięcia oraz prądu stałego o dużych wartościach. Główne zastosowanie modułu to pomiar prądu oraz napięcia w polach zasilaczy trakcyjnych, wyłączników zapasowych czy zespołach prostownikowych. Jednostka centralna z modułem pomiarowym połączona jest poprzez światłowód. Pomiar prądu realizowany jest za pomocą boczniaka pomiarowego i odczytanie spadku napięcia na nim.

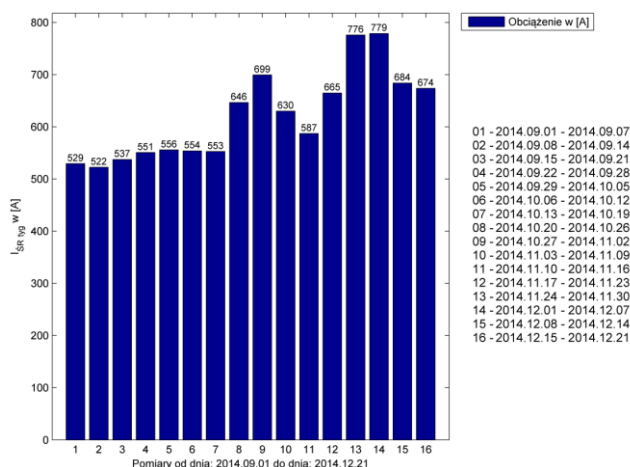
Całość systemu ma możliwość zapisywania poszczególnych danych w pamięci wewnętrznej bądź też na nośniku zewnętrznym. Na podstacjach tramwajowych dane zostają próbkowane z często-

tlivością 1 Hz. W ten sposób pozyskane dane zostają poddane obróbce komputerowej, metodą zależną od potrzeb [17][18][25].

1. ANALIZA PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH OBCIĄŻEŃ TRAKCYJNYCH

Przedstawione wyniki pomiarów i wybrane aspekty ich analizy dotyczą odcinka czasowego [27] obejmującego 16 następujących po sobie tygodni w sezonie jesienno zimowym (od 01.09.2014 do 21.12.2014).

Na rysunku 2 przedstawiono średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych tygodniach wziętego pod uwagę okresu badań [13].



Rys. 2. Średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych tygodniach [13].

Z powyższego rysunku widać, że podstacja ta w skali kolejnych tygodni była różnie obciążana. Największa średnia wartość prądu (największy pobór energii) wystąpił w czternastym tygodniu i wynosił 778,74A. Jest to 1,25 razy więcej niż średnia za ten okres wynosząca 621,61A.

Na rysunku 3 (lewy) przedstawiono średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych dniach (w pełnym zakresie 24h). Natomiast na rysunku 3 (prawy) pokazano wykres uporzą-

dkowany tych obciążeń: od wartości największej (965,38 A) do najmniejszej (304,11 A).

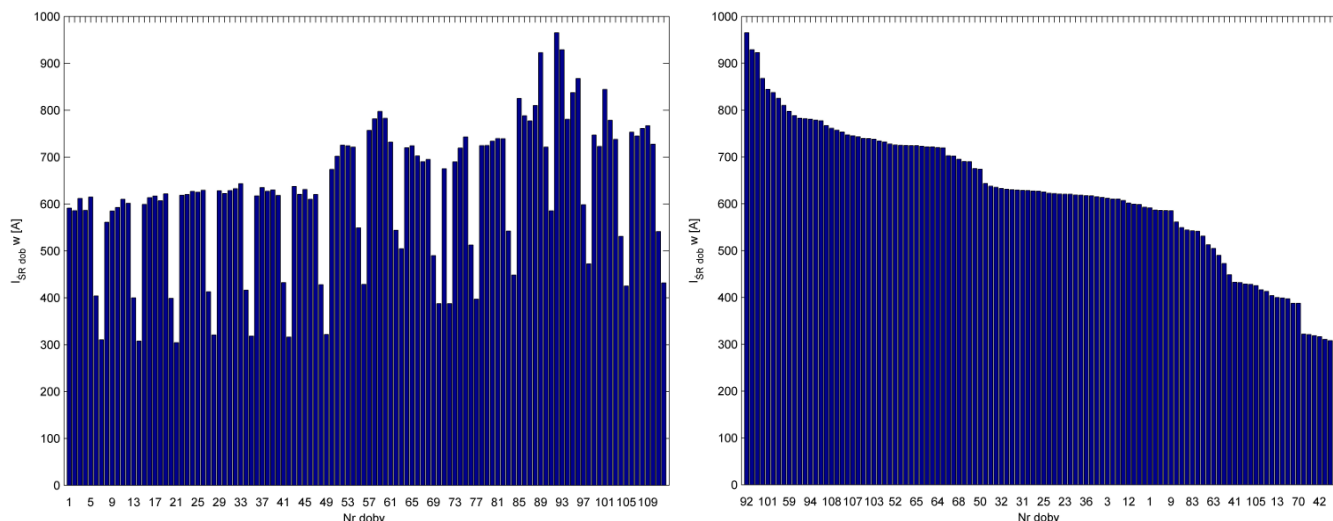
Skala zróżnicowania obciążeń poszczególnych dni (w pełnym zakresie 24h) była znaczna: od 304,11A (wartość minimalna) do 965,38A (wartość maksymalna). Ponieważ średnia wartość prądu, za okres pomiaru (16 tygodni) wynosiła, jak wspomniano powyżej, 621,61A, to średnia wartość prądu w dobie o największej wartości (czyli 965,38A) była 1,55 razy większa, a w dobie o najmniejszej wartości (czyli 304,11A) była 2,04 razy mniejsza od tej wartości.

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń dla czterech wybranych dni, tj. 8 IX 2014r., 21 IX 2014r., 29 XI 2014r., 1 XII 2014r. Dni te wybrano ze względu na minimalną i maksymalną wartość prądu średniego dobowego dla 16 tygodni (dni robocze: 8 wrzesień i 1 grudzień; dni świąteczne: 21 wrzesień i 29 listopad). W pierwszej kolejności wyszukano okres, w którym wystąpiła najwyższa średnia prądu 5-ciu minutowa. Kolejnym krokiem było przeanalizowanie okresu: 5, 10, 15, 30 oraz 60 minut, który występował przed oraz po maksymalnym obciążeniu 5 minutowym. Analiza obejmowała obliczenie wartości średniej i skutecznej prądu obciążenia w danym przedziale czasowym oraz obliczenie współczynnika β który jest definiowany jako:

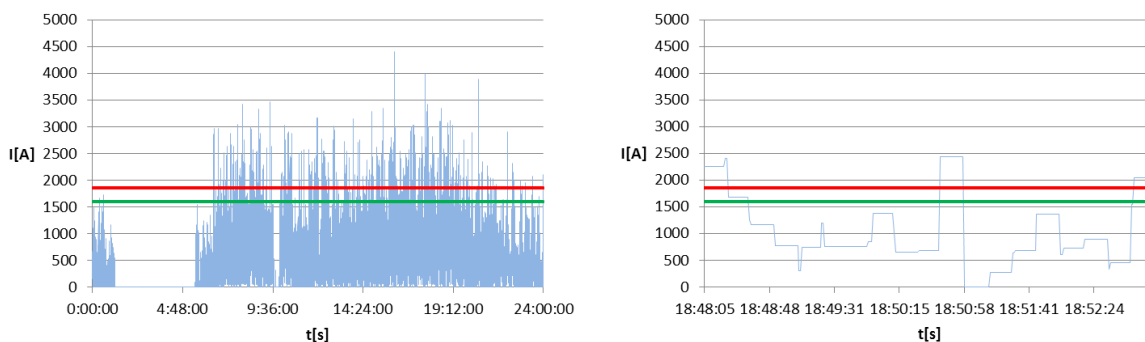
$$\beta = \frac{I_{sr_badany_okres}}{I_{sr_dobowe}} \quad (1)$$

Zebrane wyniki przedstawiono w tabelach 1 oraz 2. Na rysunkach 4÷7 przedstawiono obciążenie dobowe oraz okres maksymalnego obciążenia 5 minutowego. Na przedstawionych wykresach naniesiono kolorem zielonym I_{sr} z maksymalnych 5-ciu minut kolorem czerwonym I_{sk} obliczone z maksymalnych 5-ciu minut. W analizowanych dniach maksymalne obciążenie 5 minutowe występowało w godzinach późno popołudniowych, jednak trudno uchwycić powtarzalność czasową obciążenia maksymalnego. Wartości prądu średniego dobowego w poszczególnych dniach wyglądały następująco:

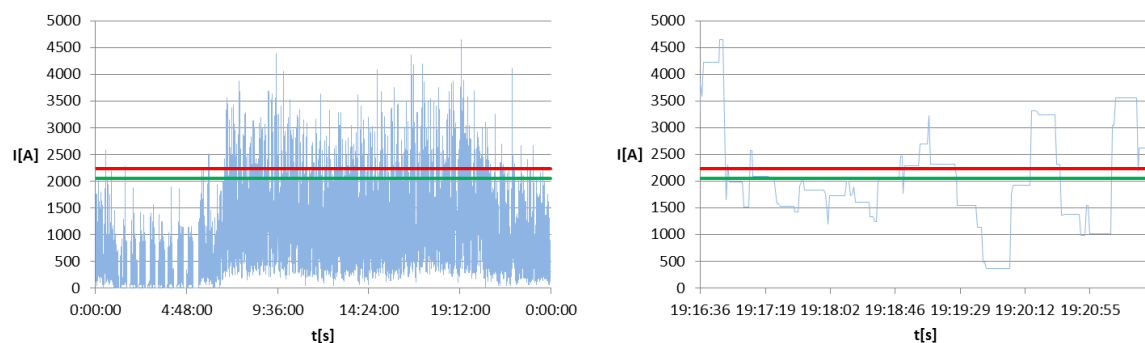
- Dni robocze:
 - 08 IX 2014r. - $I_{sr}=561,11$ [A]
 - 01 XII 2014r. - $I_{sr}=965,35$ [A]
- Dni świąteczne:
 - 21 IX 2014r. - $I_{sr}=304,09$ [A]
 - 29 XI 2014r. - $I_{sr}=721,23$ [A]



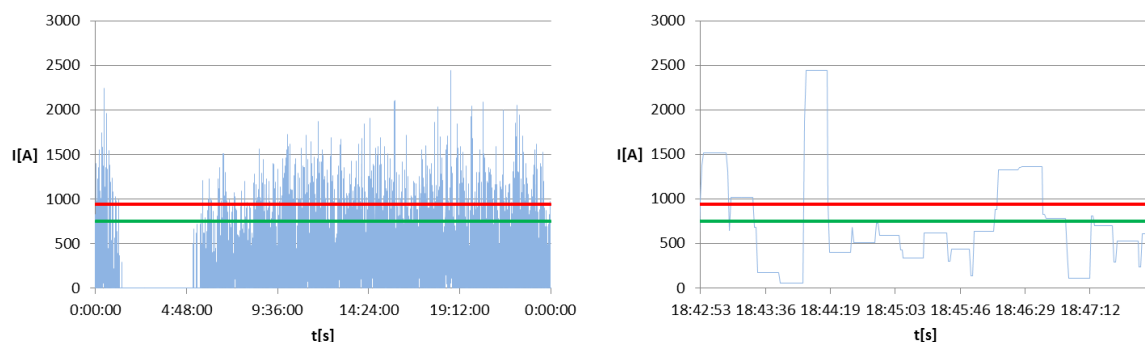
Rys. 3. Średnie wartości prądów obciążeń trakcyjnych w poszczególnych dniach; lewy: w porządku chronologicznym, prawy: uporządkowany wykres obciążeń [13].



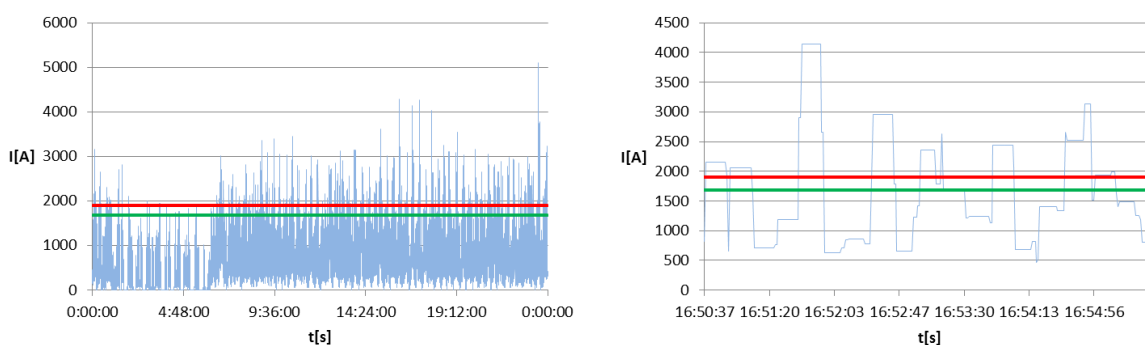
Rys. 4. Obciążenie podstacji w dniu 8 IX 2014r (minimalnie obciążony dzień roboczy): lewy: obciążenie dobowe; prawy: maksymalne obciążenie 5-cio minutowe.



Rys. 5. Obciążenie podstacji w dniu 1 XII 2014r (maksymalnie obciążony dzień roboczy): lewy: obciążenie dobowe; prawy: maksymalne obciążenie 5-cio minutowe.



Rys. 6. Obciążenie podstacji w dniu 21 IX 2014r (minimalnie obciążony dzień świąteczny): lewy: obciążenie dobowe; prawy: maksymalne obciążenie 5-cio minutowe.



Rys. 7. Obciążenie podstacji w dniu 29 XI 2014r (maksymalnie obciążony dzień świąteczny): lewy: obciążenie dobowe; prawy: maksymalne obciążenie 5-cio minutowe.

Przedstawione w tabeli 1 i tabeli 2 wyniki wskazują, że przed wystąpieniem przeciążenia krótkotrwałego, jak i po jego wystąpieniu (w tym przypadku 5. minutowego) podstacja trakcyjna (zespoły prostownikowe) była obciążona. Zauważalne różnice pomiędzy wartościami średnimi i skutecznymi prądu we wziętych po uwagę

odcinkach czasowych (5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min) wskazują na istotnie zmienny charakter obciążenia.

Tab. 1. Analiza obciążenia prądowego podstacji w dniach 8 IX 2014 r. (minimalne obciążenie dobowe) oraz 1 XII 2014r. (maksymalne obciążenie dobowe). Analiza tzw. dni roboczych.

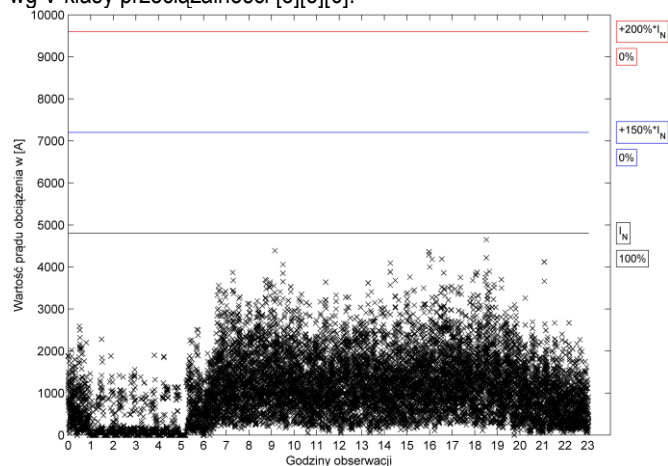
	Okres [min]	8 wrzesień 2014r.			1 grudzień 2014r.		
		$I_{sr}[A]$	$I_{sk}[A]$	β	$I_{sr}[A]$	$I_{sk}[A]$	β
okres przed	60	975,915	1219,774	1,739	1362,924	1534,575	1,412
	30	1027,244	1270,620	1,831	1354,592	1553,866	1,403
	15	1012,708	1352,642	1,805	1230,1	1408,858	1,274
	10	1014,867	1353,811	1,809	1392,013	1569,401	1,442
	5	1190,831	1429,202	2,122	1477,841	1674,364	1,531
	max. 5	1599,100	1858,387	2,850	2044,5	2238,532	2,118
okres po	5	1005,150	1185,359	1,791	1781,561	1938,241	1,846
	10	969,218	1131,964	1,727	1375,541	1588,642	1,425
	15	1005,583	1180,187	1,792	1395,538	1591,253	1,446
	30	879,728	1088,158	1,568	1411,605	1573,978	1,462
	60	934,293	1148,865	1,665	1348,3	1511,274	1,397

Tab. 2. Analiza obciążenia prądowego podstacji w dniach 21 IX 2014 r. (minimalne obciążenie dobowe) oraz 29 XI 2014r. (maksymalne obciążenie dobowe). Analiza tzw. dni świątecznych.

	Okres [min]	21 wrzesień 2014r.			29 listopad 2014r.		
		$I_{sr}[A]$	$I_{sk}[A]$	β	$I_{sr}[A]$	$I_{sk}[A]$	β
okres przed	60	408,345	551,607	1,343	912,791	1110,302	1,266
	30	378,606	515,450	1,245	823,942	1001,281	1,142
	15	389,745	547,224	1,282	749,466	980,007	1,039
	10	316,755	486,756	1,042	602,163	806,427	0,835
	5	308,638	459,776	1,015	869,535	1047,757	1,206
	max. 5	748,600	937,432	2,462	1681,600	1900,663	2,332
okres po	5	333,023	468,886	1,095	789,668	929,601	1,095
	10	308,186	443,242	1,013	695,674	830,675	0,965
	15	338,879	488,415	1,114	786,171	905,331	1,090
	30	395,802	564,659	1,302	845,641	1037,253	1,172
	60	406,659	568,233	1,337	879,184	1066,041	1,219

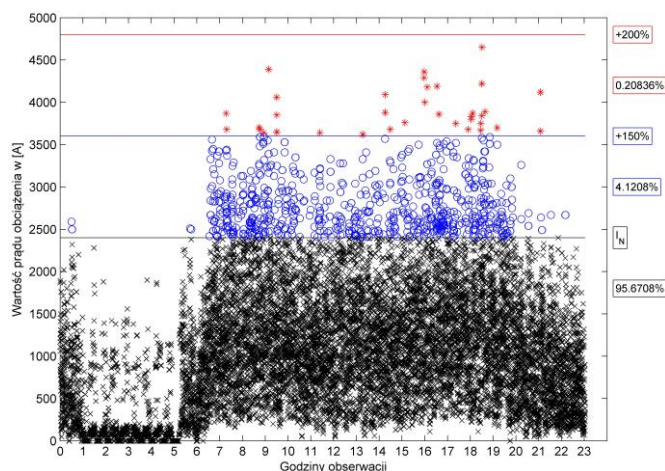
2. STATYSTYCZNA ANALIZA WYNIKÓW

Na rys. 8 przedstawiono zarejestrowane chwilowe wartości prądu obciążenia w dniu 1 grudnia 2014 roku. Jest to dzień roboczy o największym obciążeniu z pośród wszystkich analizowanych dni. W celu oceny poprawności doboru zespołów prostownikowych pomierzone obciążenia zostały przedstawione z użyciem podziału wg V klasy przeciążalności [3][5][6].



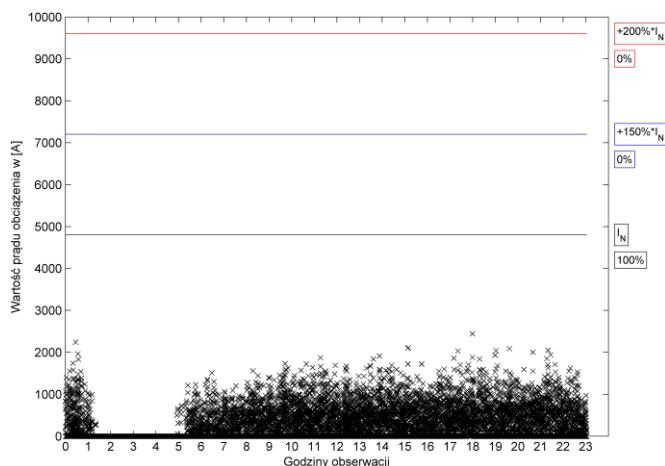
Rys. 8. Chwilowe wartości obciążeń dla 4-ech pracujących zespołów prostownikowych na tle jego parametrów znamionowych w dniu 1 grudnia 2014 r.

Na kolejnym rysunku 9 zamieszczono te same wyniki pomiarów, tak jak w przypadku rys. 8. Przy czym wzięto, przykładowo, pod uwagę pracę wyłącznie 2. zespołów prostownikowych o tych samych parametrach.



Rys. 9. Chwilowe wartości obciążeń dla 2-óch pracujących zespołów prostownikowych na tle jego parametrów znamionowych w dniu 1 grudnia 2014 r.

Na rys. 10 przedstawiono, w celach porównawczych, wyniki pomiarów z dnia o najmniejszym obciążeniu. Jest to dzień świąteczny 21 września 2014 roku.

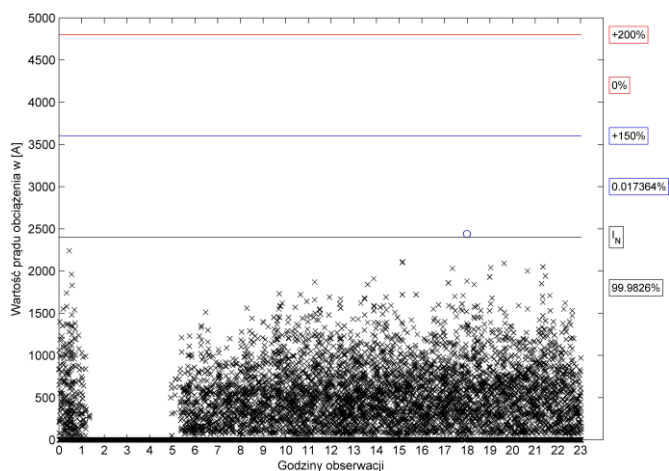


Rys. 10. Chwilowe wartości obciążeń dla 4-ech pracujących zespołów prostownikowych na tle jego parametrów znamionowych w dniu 21 września 2014 r.

Z rysunków 8 i 10 widać, że nie jest wykorzystywana w ogóle zdolność przeciążeniowa zespołów prostownikowych w przypadku ich pracy w ilości 4 sztuk. Zaobserwowana sytuacja jest stanem faktycznym pracy tychże urządzeń na badanej podstacji trakcyjnej.

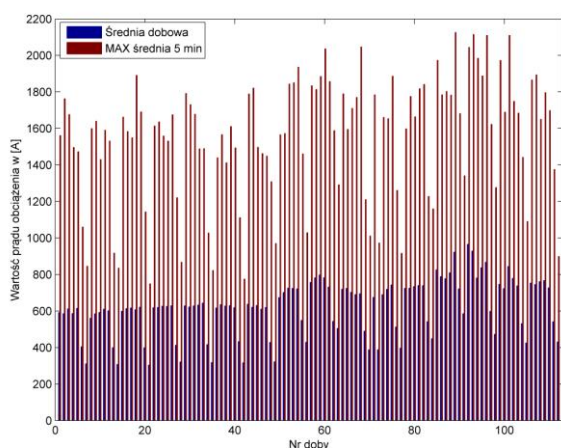
W przypadku hipotetycznej pracy wyłącznie 2-óch zespołów prostownikowych (co pokazano na rys. 9 i 11) widać, że w dniu maksymalnego obciążenia w pewnym zakresie jest wykorzystywana zdolność przeciążeniowa tych urządzeń. Natomiast dla dnia świątecznego widać, że prądy obciążenia nie osiągają wartości wynikających z klasy znamionowania (tym razem nawet dwóch) zespołów prostownikowych.

Prezentacja wyników z rysunków 8, 9, 10, 11 ma charakter innowacyjny. Autorzy uważają, że ten sposób zestawienia wyników pomiarowych i parametrów zespołów prostownikowych w poglądowy sposób pozwala zorientować się m.in. o poprawności doboru ilości i mocy urządzeń przetwórczych zadanej klasy dla występujących w rzeczywistości obciążeń.



Rys. 11. Chwilowe wartości obciążeń dla 2-óch pracujących zespołów prostownikowych na tle jego parametrów znamionowych w dniu 21 września 2014 r.

Na rysunku 12 pokazano chronologiczne zestawienie prądów dla 112 kolejnych dni. Wzięto pod uwagę wartości średnie dobowe oraz wartości średnie dla 5 minut maksymalnego obciążenia. Wstępna optyczna ocena pozwala, z pewnym przybliżeniem stwierdzić, że większemu poborowi energii w skali doby na cele trakcyjne odpowiada większa wartość przeciążenia pięciminutowego. Kwestia ta w tym artykule nie jest szczegółowo analizowana.



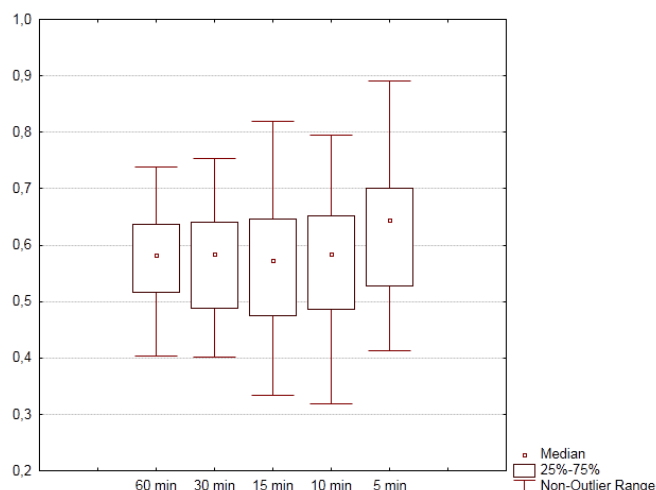
Rys. 12. Chronologiczne zestawienie prądów: wartości średnie dobowe oraz wartości średnie dla 5 min maksymalnego obciążenia.

Na kolejnych rysunkach (13, 14, 15 i 16) przedstawiono porównanie obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych z wykorzystaniem wykresów skrzynkowych dla każdego przypadku.

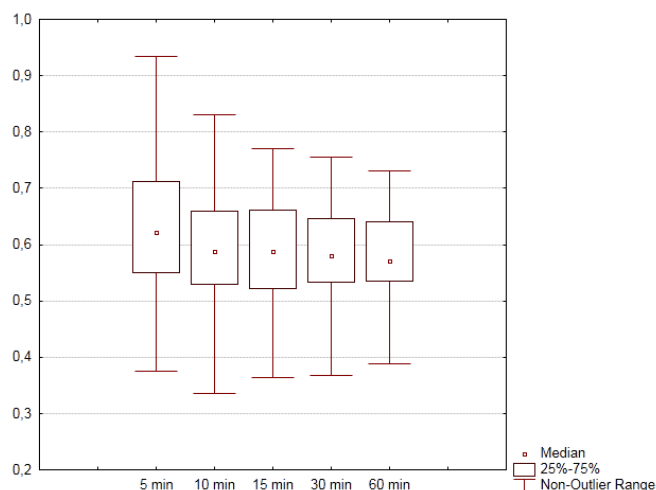
Zaprezentowane wyniki są efektem analizy, która obejmowała obliczenie współczynnika γ który jest definiowany jako (dla wartości średnich):

$$\gamma_{sr} = \frac{I_{sr_badany_okres}}{I_{sr_5\ min_max}} \quad (2)$$

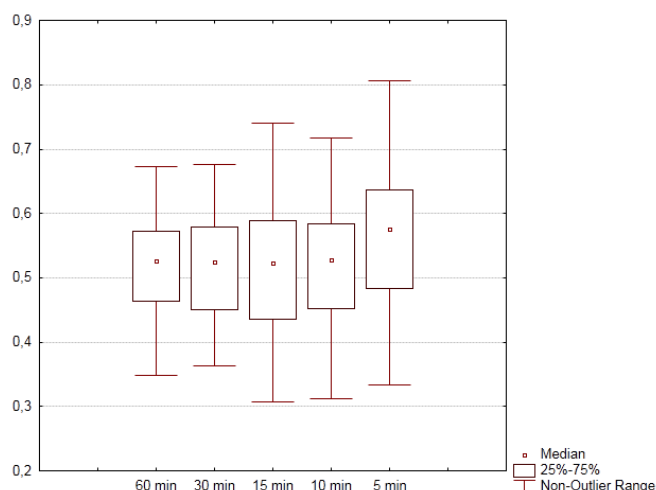
Tzw. „skrzynka” obrazuje 50% punktów pomiarowych [22]. Symbol znajdujący się wewnątrz „skrzynki” wyznacza położenie mediany, czyli wartości dzielącej zbiór punktów pomiarowych na dwie równe części. Dwie skrajne linie poziome wykresu wyznaczają wartości minimalne i maksymalne.



Rys. 13. Zestawienie współczynników gamma dla wybranych przedziałów czasowych przed wystąpieniem maksymalnego obciążenia 5 min - wg wartości średnich.



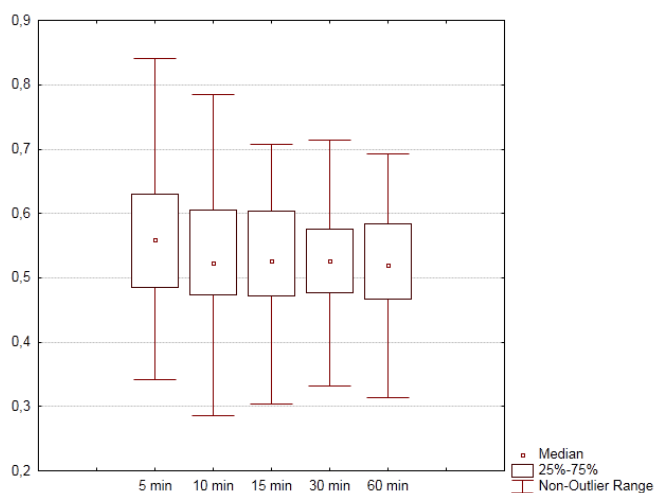
Rys. 14. Zestawienie współczynników gamma dla wybranych przedziałów czasowych po wystąpieniu maksymalnego obciążenia 5 min - wg wartości średnich.



Rys. 15. Zestawienie współczynników gamma dla wybranych przedziałów czasowych przed wystąpieniem maksymalnego obciążenia 5 min - wg wartości skutecznych.

Tab. 3. Obliczony współczynnik γ w oparciu o wartości średnie dla wybranych dni od 1 września 2014 r. do 20 września 2014 r.

Lp.	Data	60 min	30 min	15 min	10 min	5 min	Srednia z MAX 5 min	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
PRZED							PO					
1.	2014.09.01	0,6169	0,6033	0,5769	0,6202	0,7730	1 561,5000	0,5432	0,5601	0,6445	0,6305	0,6667
2.	2014.09.02	0,4350	0,4744	0,4137	0,4423	0,5202	1 763,1333	0,6287	0,5559	0,6044	0,5780	0,5532
3.	2014.09.03	0,4471	0,4639	0,4417	0,4631	0,6367	1 676,3667	0,7251	0,6283	0,5841	0,5615	0,5550
4.	2014.09.04	0,6491	0,6578	0,6011	0,5853	0,6333	1 495,7667	0,6976	0,6012	0,5218	0,6223	0,5929
5.	2014.09.05	0,6720	0,6758	0,7650	0,7456	0,6846	1 472,6000	0,5566	0,6225	0,6443	0,6895	0,6989
6.	2014.09.06	0,4183	0,4308	0,3661	0,4032	0,5632	1 059,5667	0,4086	0,3363	0,3639	0,4082	0,4113
7.	2014.09.07	0,4856	0,4472	0,4649	0,4749	0,5103	845,6000	0,6305	0,5914	0,5798	0,5360	0,5092
8.	2014.09.08	0,6139	0,6475	0,6098	0,6699	0,8132	1 599,1000	0,6855	0,6355	0,6432	0,5676	0,5888
9.	2014.09.09	0,5765	0,6037	0,5519	0,6520	0,6970	1 639,6667	0,6803	0,6584	0,6454	0,6133	0,6090
10.	2014.09.10	0,6735	0,6740	0,6642	0,6969	0,6922	1 429,8667	0,7325	0,7394	0,6832	0,6203	0,6220
11.	2014.09.11	0,5763	0,5944	0,5358	0,5557	0,6532	1 590,3000	0,5906	0,6185	0,6173	0,6485	0,6210
12.	2014.09.12	0,6019	0,5601	0,4730	0,4677	0,5173	1 531,4000	0,7741	0,8056	0,7511	0,7097	0,6979
13.	2014.09.13	0,5611	0,5327	0,5444	0,4530	0,4299	917,5667	0,6444	0,5387	0,5124	0,5449	0,5587
14.	2014.09.14	0,1364	0,1586	0,0984	0,0961	0,1367	835,1667	0,6133	0,5169	0,4196	0,3671	0,3535
15.	2014.09.15	0,5176	0,4873	0,4653	0,5010	0,5325	1 662,0000	0,5552	0,5425	0,5155	0,5165	0,4971
16.	2014.09.16	0,5976	0,6282	0,5563	0,5353	0,7026	1 583,4000	0,8846	0,8316	0,7656	0,6922	0,6618
17.	2014.09.17	0,6315	0,6351	0,5938	0,5334	0,6343	1 549,2000	0,5101	0,5005	0,5298	0,5728	0,5558
18.	2014.09.18	0,4617	0,4603	0,4468	0,4438	0,4179	1 890,8667	0,5942	0,5621	0,5666	0,5423	0,5599
19.	2014.09.19	0,4793	0,4754	0,5730	0,6771	0,6765	1 690,5667	0,4825	0,4699	0,4440	0,4426	0,4466
20.	2014.09.20	0,4866	0,4738	0,4330	0,3910	0,5060	1 142,7667	0,4283	0,3481	0,4228	0,4010	0,4265



Rys. 16. Zestawienie współczynników gamma dla wybranych przedziałów czasowych po wystąpieniu maksymalnego obciążenia 5 min - wg wartości skutecznych.

Ten sposób uporządkowania danych również pozwala w szybki i wygodny dla inżynierów (specjalistów) sposób zorientować się w skali podobieństw i różnic pomiędzy analizowanymi (tu) współczynnikami gamma. Przykładowo zauważyć można na rys. 14, 15 i 16, że największy zakres zmienności tego współczynnika występuje dla interwału czasowego równego 5 min tak przed jak i po wystąpieniu

przeciążenia (czyli max 5 min). Wynika z tego, że wiele uwagi trzeba będzie jeszcze poświęcić temu zagadnieniu aby zaproponować projektantom korzystny sposób szacowania (obliczania) analizowanego współczynnika.

W Tabelach 3 i 4 przedstawiono, przykładowo, szczegółowe wyniki obliczeń wartości współczynnika gamma dla pierwszych 20 dni w których realizowano pomiary. W tab. 3 obliczenia przeprowadzono w oparciu o wartości średnie prądów, a w tab. 4 w oparciu o wartości skuteczne. Zróżnicowanie tych wartości jest wynikiem zmienności wartości analizowanych prądów, w funkcji czasu. Tabele te przygotowano w taki sposób aby można było porównać wartości współczynnika gamma przed i po wystąpieniu przeciążenia w rozważanych interwałach czasowych. Widać również, że aby móc wskazać najbardziej miarodajne wartości tego wskaźnika konieczne jest przeprowadzenie dalszych analiz.

UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione wyniki pomiarów i analiz posiadają istotną wartość, ponieważ prezentują spójny odcinek czasowy obejmującego 112 dni. Trzeba mieć jednak na uwadze, że dotyczą one tylko jednej, wybranej, podstacji trakcyjnej. W przypadku posiadania wyspecjalizowanych układów pomiarowych (rys. 1) można zrealizować znacznie szerszy zakres badań - tzn. można np. wziąć pod uwagę większą ilość podstacji trakcyjnych.

Tab. 4. Obliczony współczynnik γ w oparciu o wartości skuteczne dla wybranych dni od 18 października 2014 r. do 6 listopada 2014 r.

Lp.	Data	60 min	30 min	15 min	10 min	5 min	Skuteczna z MAX 5 min	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
PRZED							PO					
1.	2014.10.18	0,3694	0,3738	0,4580	0,5199	0,6469	1 536,1447	0,5274	0,4920	0,4247	0,3985	0,4096
2.	2014.10.19	b/d	b/d	0,3292	0,3961	0,4348	1 162,3995	0,3411	0,2874	0,2647	0,2842	0,2067
3.	2014.10.20	0,4941	0,5501	0,5193	0,5313	0,5921	1 816,2108	0,5637	0,5359	0,5442	0,5728	0,5903
4.	2014.10.21	0,5988	0,6530	0,6481	0,6692	0,7421	1 780,9759	0,6278	0,6234	0,6027	0,5610	0,4861
5.	2014.10.22	0,5392	0,5772	0,5759	0,5548	0,6363	2 048,6589	0,7110	0,6425	0,6268	0,6136	0,5968
6.	2014.10.23	0,4716	0,4679	0,4607	0,4901	0,6180	2 069,0837	0,4460	0,4867	0,4718	0,5330	0,5602
7.	2014.10.24	0,4817	0,4384	0,4263	0,4465	0,4704	2 149,8721	0,6793	0,6620	0,6043	0,5611	0,5172
8.	2014.10.25	0,5418	0,4469	0,4606	0,4519	0,5249	1 573,9561	0,4565	0,3821	0,4397	0,4803	0,4803
9.	2014.10.26	0,5086	0,4909	0,5131	0,4874	0,4834	1 296,2489	0,4907	0,4523	0,4536	0,4475	0,4651
10.	2014.10.27	0,6690	0,6581	0,6634	0,6451	0,6734	1 997,7788	0,6175	0,5799	0,6272	0,5745	0,5707
11.	2014.10.28	0,6610	0,6743	0,6514	0,6542	0,7193	1 935,9190	0,7396	0,7435	0,6864	0,7143	0,6929
12.	2014.10.29	0,6159	0,6206	0,6159	0,6366	0,7696	2 104,3909	0,6858	0,6281	0,6130	0,6366	0,6527
13.	2014.10.30	0,5859	0,6052	0,6272	0,6430	0,6474	2 161,4144	0,6739	0,6550	0,6879	0,6583	0,6649
14.	2014.10.31	0,4285	0,5302	0,6643	0,6621	0,8065	1 929,3106	0,7659	0,6260	0,5457	b/d	b/d
15.	2014.11.01	0,4521	0,3920	0,4331	0,4772	0,5496	1 757,4996	0,5632	0,4812	0,5154	0,4847	0,5258
16.	2014.11.02	0,5494	0,5306	0,5201	0,5705	0,5286	1 484,4181	0,4406	0,5232	0,5013	0,4995	0,4919
17.	2014.11.03	0,5774	0,5956	0,5671	0,5194	0,4070	2 010,8071	0,4898	0,4651	0,4365	0,5039	0,5046
18.	2014.11.04	0,6348	0,6283	0,6329	0,6484	0,6618	1 796,3373	0,6490	0,6151	0,6272	0,6258	0,5725
19.	2014.11.05	0,4494	0,3909	0,3911	0,3919	0,4241	1 993,1732	0,5497	0,5387	0,4832	0,4904	0,4662
20.	2014.11.06	0,5102	0,5051	0,5440	0,5607	0,5877	1 993,9357	0,6409	0,6025	0,5894	0,5778	0,5475

Przedstawione oceny mają, w jakimś sensie, unikalny charakter, ze względu na aktualność, uwzględniającą nieodległą przeszłość. Pozwoliło to odnieść się do parametrów zespołów prostownikowych, zainstalowanych w podstacji trakcyjnej w bardziej odległej przeszłości. W zasadzie widać, że moc tych urządzeń jest tak duża, że nie ma obaw, aby pojawiające się przeciążenia trakcyjne (prądy), w dowolnym interwale czasowym, osiągały wartości wynikające z klasy znamionowania zainstalowanych zespołów prostownikowych.

Zespoły prostownikowe analizowanej podstacji trakcyjnej są obciążone przed i po wystąpieniu przeciążenia. Zaprezentowane wyniki powinny mieć znaczenie dla konstruktorów wyposażenia podstacji, jak i projektantów tych podstacji zainteresowanych poprawnym doбором urządzeń pod względem termicznym. Zaprezentowany materiał sprzyja bardziej uzasadnionemu doborowi, w szczególności ilości, zespołów prostownikowych, co z kolei powinno ograniczyć koszty inwestycyjne, jak i eksploatacyjne. W [15] przedstawiono pomysł radykalnego podejścia w istotny sposób mogącego ograniczyć problemy związane z trudno uchwytnym zagadnieniem zmienności obciążeń trakcyjnych.

BIBLIOGRAFIA

- Białoń A., Chrabąszcz I., Hudym W., Kaczmarczyk A., Prusak J.: Wpływ odległości kolejowych podstacji trakcyjnych na rozkład obciążeń między nimi – symulacyjna ocena wybranych przypadków. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 7 – 8/2015 (str. 80 – 82).
- Białoń A., Chrabąszcz I., Hudym W., Kaczmarczyk A., Prusak J.: Wstępna ocena rozkładu obciążeń prądowych kolejowych podstacji trakcyjnych w układzie zasilania DC. Materiały w wersji drukowanej XVI Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej z zakresu Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2014, Zakopane 15 – 17 października 2014 (str. 149 – 156).
- Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik I.: Trakcja elektryczna prądu stałego. Układy zasilania. Podręcznik INPE dla elektryków, Zeszyt nr 27, Kraków – Belchatów 2009.
- Chrabąszcz I., Prusak J., Tkaczyk Sz.: Wstępna ocena termicznych warunków pracy zespołów prostownikowych dla drugiej linii Metra w Warszawie. TTS Technika Transportu Szynowego tts, nr 6/2013.
- Dokumentacja podstacji tramwajowej nr "01" ("Czyżyny"), materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie.
- Dokumentacja Techniczno – Ruchowa: Prostownik Diodowy PD-12/0,8 dds (w4) do zasilania trakcji tramwajowej i trolejbusowej; Zakłady Aparatury Elektrycznej WOLTAN.
- Drapik S., Dudzik M., Kobielski A., Prusak J.: Komparatywna ocena zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. 11th International Conference „Modern ElectricTraction” MET’2013, Poland Warsaw, October 10 – 12. 2013; materiały konferencyjne (str 62 – 67).
- Drapik S., Kaczmarczyk A., Kobielski A., Prusak J.: Charakter of loadvariability of tram tractionsubstation, thatsupplies lines with differentspecificity of traffic; XVI Ogólnopolska Konferencja Naukowa z Zakresu Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2014, Zakopane, październik 2014; drukowane materiały konferencyjne str. 185 – 194.
- Drapik S., Kaczmarczyk A., Kobielski A., Prusak J.: Charakter zmienności obciążeń tramwajowych podstacji trakcyjnych zasilających linie o różnej specyfice ruchu pojazdów. TTS Technika Transportu Szynowego 5–6/2015, str. 43–48.
- Drapik S., Kobielski A., Prusak J.: Fluktuacja obciążeń podstacji trakcyjnych w ujęciu teorii szeregów czasowych. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 7 – 8/2010, str. 59.
- Drapik S., Kobielski A., Prusak J.: Selected issues of traction substation load variability. Modern Electrictraction. Power Sup-

- ply, (ed. K. Karwowski, A. Szelaǳ), Chapter 5, Gdański University of Technology, Gdańsk 2009, str. 47.
12. Drapik S., Kobielski A., Prusak J.: Wybrane aspekty zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 4/2010, str. 27.
 13. Drapik S., Kuznetsov V., Markowski P., Prusak J., Woszczyna B.: Badanie skali zmienności obciążeń wybranej tramwajowej podstacji trakcyjnej na podstawie rzeczywistych wyników pomiarowych dla spójnego okresu czasowego obejmującego szesnaście tygodni. Artykuł złożony w redakcji czasopisma Logistyka, wrzesień 2015.
 14. Drapik S., Markowski P., Prusak J., Woszczyna B.: Tramwajowe podstacje trakcyjne – wybrane problemy bezpieczeństwa ekologicznego w świetle oceny ich obciążeń. Logistyka 4/2015, str. 3017 - 3027.
 15. Jagiełło A.S., Chrabąszcz I., Drapik S., Dudzik M., Kobielski A., Prusak J.: System do aktywnej regulacji obciążenia zespołów prostownikowych kolejowej podstacji trakcyjnej i sposób aktywnej regulacji obciążenia zespołów prostownikowych kolejowej podstacji trakcyjnej. Rozwiązanie zarejestrowane w Urzędzie Patentowym RP na rzecz Politechniki Krakowskiej pod numerem zgłoszeniowym P.411511, objęte ochroną prawną od dnia 10.03.2015.
 16. Kaluża E., Bartodziej G., Ginalski Z.: Układy zasilania i podstacje trakcyjne, Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985.
 17. Karta katalogowa modułu wysokiego napięcia ELESTER PKP.
 18. Karta katalogowa systemu CZAT.
 19. Kobielski A., Drapik S., Dudzik M., Prusak J.: Niektóre problemy analizy i modelowania zmienności obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. Monografia 450: Elektrotechnika w Zastosowaniach Trakcyjnych; seria: Inżynieria Elektryczna i Komputerowa; Praca zbiorowa pod redakcją Adama ST. Jagiełły, Politechnika Krakowska, Kraków 2014 (str. 237 – 249). ISSN 0860-097X.
 20. Kobielski A., Drapik S., Dudzik M., Prusak J.: Time Series as an Aid to Research of Traction Substation Load. JEPE Journal of Energy and Power Engineering, Volume 7, Number 5, May 2013 (Serial Number 66), David Publishing Company, El Monte, USA, pages 979 – 986, (ISSN 1934-8975 (Print)).
 21. Kobielski A., Drapik S., Dudzik M., Prusak J.: Wstępne studium efektywności zastosowania sieci neuronowych w badaniach obciążeń kolejowych podstacji trakcyjnych. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 10/2014, (str. 40 – 43).
 22. Malarska A.: Statystyczna analiza danych SPSS. Kraków 2005.
 23. Mierzejewski L., Szelaǳ A., Gałuszewski M.: System zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1989.
 24. Polska Norma PN-IEC 146-1-1+AC: Przekształtniki półprzewodnikowe. Wymagania ogólne i przekształtniki o komutacji sieciowej. Wymagania podstawowe.
 25. Prusak J., Reczyński W.: Nadzorowanie funkcjonowania tramwajowych podstacji trakcyjnych – środki techniczne, doświadczenia eksploatacyjne. TTS Technika Transportu Szynowego, nr 11 – 12/2002.
 26. Sobczyk M.: Statystyka: aspekty praktyczne i teoretyczne, Lublin, 2006.
 27. Wyniki pomiarów prądów obciążeń trakcyjnych kabli zasilających podstacji tramwajowej nr "01" ("Czyżyny"), materiały udostępnione przez ZIKIT w Krakowie.

ANALYSIS OF LOAD OF RECTIFIER UNITS BEFORE AND AFTER THE OVERLOAD ON THE EXAMPLE OF SELECTED TRAMWAY TRACTION SUBSTATION

Abstract

The article presents the results of the tramway traction substation loads analysis. In particular two working days and two holidays were taken into account. The selection criterion was based on finding the most and the least charged day from among the 112 days for which measurements were made. Attention in this case has been given to the value of the 5-minutes overload, and to the loads that occur before and after the overload. The obtained results should be helpful, among others, in the assessment of thermal working conditions of rectifier units.

Autorzy:

mgr inż. **Sławomir Drapik** - ELECTREN SA

Paweł Markowski - student, Wydział Mechaniczny, kierunek Energetyka, Politechnika Krakowska

dr inż. **Janusz Prusak** - Politechnika Krakowska, WIEiK, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem E-12, Kraków

mgr inż. **Bartosz Woszczyna** - Politechnika Krakowska, WIEiK, Katedra Trakcji i Sterowania Ruchem E-12, Kraków