

## MONITORING ODBIERAKÓW PRĄDU POJAZDÓW KOLEJOWYCH

Leszek JARZĘBOWICZ<sup>1</sup>, Sławomir JUDEK<sup>2</sup>, Krzysztof KARWOWSKI<sup>3</sup>, Dariusz KARKOSIŃSKI<sup>4</sup>,  
Miroslaw MIZAN<sup>5</sup>

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

- |                                                            |                                                           |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1. tel: 58 347 21 49, e-mail: l.jarzebowicz@ely.pg.gda.pl, | 2. tel: 58 347 11 68, e-mail: s.judek@ely.pg.gda.pl       |
| 3. tel: 58 347 11 58, e-mail: k.karwowski@ely.pg.gda.pl    | 4. tel: 58 347 12 86, e-mail: d.karkosinski@ely.pg.gda.pl |
| 5. tel: 58 347 15 02, e-mail: m.mizan@ely.pg.gda.pl        | fax: 58 347 18 02                                         |

**Streszczenie:** Opracowano stanowisko monitoringu stanu technicznego odbieraków prądu (MOP) w warunkach eksploatacyjnych – w trakcie przejazdu pociągów przez wybrany punkt linii kolejowej. Działanie systemu opiera się na pomiarze uniesienia przewodów jezdnych sieci trakcyjnej w celu wykrycia odbieraków o niewłaściwej sile nacisku. Przedstawiono metodę pośredniego wyznaczania siły statycznej odbieraka prądu. Opisano strukturę systemu MOP, zainstalowanego na linii kolejowej. Zaprezentowano i omówiono przykładowe wyniki pomiarów.

**Słowa kluczowe:** trakcyjny odbierak prądu, monitoring stanu technicznego, pomiary bezstykowe

## 1. KONCEPCJA MONITORINGU

Uszkodzenia lub rozregulowanie odbieraków prądu w pojazdach trakcyjnych występują w eksploatacji i mogą prowadzić do uszkodzeń infrastruktury sieciowej. Dla zarządcy infrastruktury ważne jest bezpośrednie wykrywanie na linii kolejowej takich odbieraków, których zły stan techniczny zagraża utrzymaniu ciągłości ruchu pociągów.

Nacisk ślizgacza odbieraka prądu na przewody jezdne sieci powoduje ich uniesienie, zależne od konstrukcji sieci, właściwości odbieraka i jego stanu technicznego – szczególnie od nastawionej siły statycznej, oraz – ze względu na siły aerodynamiczne – od prędkości jazdy [1, 2]. Niewielki wpływ mogą mieć też takie czynniki, jak stan torowiska, stan zawieszenia pojazdu, siła wiatru. Przy niskich prędkościach jazdy wartość nacisku stykowego  $F$  jest w przybliżeniu równa sile statycznej  $F_s$ , przy uwzględnieniu siły tarcia w przegubach ramion odbieraka  $F_t$ , która zwiększa lub zmniejsza nacisk, zależnie od kierunku ruchu odbieraka; dla wyższych prędkości wpływ ma też siła aerodynamiczna  $F_{ae}$ , zwiększająca całkowitą siłę nacisku, i siła dynamiczna  $F_d$ , wynikająca z pionowego ruchu odbieraka, której zwrot zależy od znaku przyspieszenia [1]:

$$F = F_s \pm F_t + F_d + F_{ae}; \quad F_{ae} = \alpha v^2; \quad F_d = m_o a \quad (1)$$

gdzie:  $m_o$  – masa zastępcza części ruchomych odbieraka,  $a$  – przyspieszenie pionowego ruchu odbieraka,  $\alpha$  – współczynnik zależny od konstrukcji odbieraka,  $v$  – prędkość jazdy.

Do syntetycznej oceny stanu technicznego odbieraka wybrano siłę statyczną oddziaływania odbieraka na sieć. Jej

wyznaczoną wartość można bezpośrednio porównać z wynikami zmierzonymi podczas przeglądu i regulacji odbieraka w lokomotywni oraz z wymaganiami normatywnymi. Ponieważ pomiar siły statycznej na torze wymagałby ograniczenia prędkości pociągu do kilku kilometrów na godzinę [3], zdecydowano się na pośrednie wyznaczanie siły w warunkach dynamicznych. Polega ono na pomiarze uniesienia przewodów jezdnych wywołanego naciskiem odbieraka i obliczeniu siły statycznej, z uwzględnieniem korekty od składowej aerodynamicznej – w tym celu mierzona jest także prędkość pojazdu. Przy założeniu ograniczonego wpływu pozostałych składowych siły, pozwala to na oszacowanie siły statycznej z dokładnością wystarczającą do wykrycia tych odbieraków, których nastawy znacznie odbiegają od dopuszczalnych. W świetle prowadzone są badania nad zbliżonymi metodami oceny odbieraków prądu [4-6], w Szwajcarii system oparty na takiej zasadzie jest w eksploatacji [3].

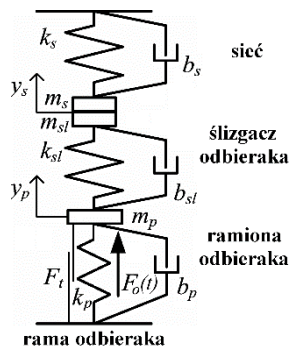
## 2. BADANIA SYMULACYJNE

Przyjętą koncepcję wstępnie zweryfikowano w oparciu o uproszczony model mechaniczny zespołu odbierak – sieć jezdna, przedstawiony na rysunku 1, opisany równaniami:

$$(m_s + m_{sl}) \frac{d^2 y_s}{dt^2} + b_s \frac{dy_s}{dt} + b_{sl} \left( \frac{dy_s}{dt} - \frac{dy_p}{dt} \right) + k_s y_s + k_{sl} (y_s - y_p) + (m_s + m_{sl}) g = 0 \quad (2)$$

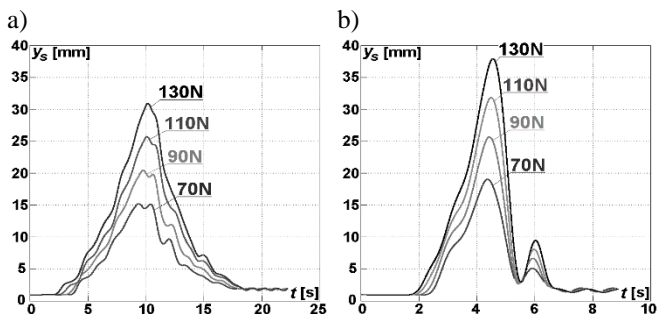
$$m_p \frac{d^2 y_p}{dt^2} + b_p \frac{dy_p}{dt} + b_{sl} \left( \frac{dy_p}{dt} - \frac{dy_s}{dt} \right) + k_p y_p + k_{sl} (y_p - y_s) + m_p g = F_o(t) + \text{sgn} \left( \frac{dy_p}{dt} \right) F_t \quad (3)$$

gdzie:  $m_s=140$  kg – masa zastępcza odcinka sieci,  $m_{sl}=8,8$  kg – masa ślizgacza,  $m_p=40,8$  kg – masa ramion odbieraka,  $b_s=10$  kg·s<sup>-1</sup>,  $b_{sl}=8$  kg·s<sup>-1</sup>,  $b_p=100$  kg·s<sup>-1</sup> – stałe tłumienia sieci, ślizgacza i ramion odbieraka,  $k_s=3200$  kg·s<sup>-2</sup>,  $k_{sl}=2000$  kg·s<sup>-2</sup>,  $k_p=280$  kg·s<sup>-2</sup> – stałe sprężystości sieci, ślizgacza i ramion,  $y_s, y_p$  – położenie (w kierunku pionowym) przewodów jezdnych i górnej części ramion odbieraka; równanie (2) dotyczy zespołu: ślizgacz + sieć, równanie (3) dotyczy ramion odbieraka.



Rys. 1. Przyjęty model mechaniczny zespołu odbieraka prądu - sieć

Model odwzorowuje zmiany położenia odbieraka tylko w kierunku pionowym. Przyjęte wartości parametrów podano w objaśnieniu symboli. Zmianę siły unoszącej przewody w miejscu pomiaru przy przesuwaniu się odbieraka wzdłuż toru uwzględniono poprzez pobudzenie go siłą  $F_o(t)$  o przebiegu narastającym w czasie do wartości maksymalnej, a następnie opadającym. Obejmuje ona sumę składowych siły statycznej i aerodynamicznej, które wywołują unoszenie przewodów w punkcie pomiaru. Szybkość zmian i czas oddziaływania siły  $F_o$  oraz wartość składowej aerodynamicznej doborano każdorazowo stosownie do zakładanej prędkości jazdy pojazdu. Przyjęto założenie, że istotny wpływ na unoszenie przewodu wywołuje odbierak znajdujący się tylko w obszarze przeszły zawieszenia sieci, sąsiadujących z miejscem pomiaru; dla dalszych jego położenia, prócz znikomej wartości pionowej składowej sił w miejscu pomiaru, uwidacznia się także usztywniający wpływ na sieć wysięgników w punktach jej podwieszenia.



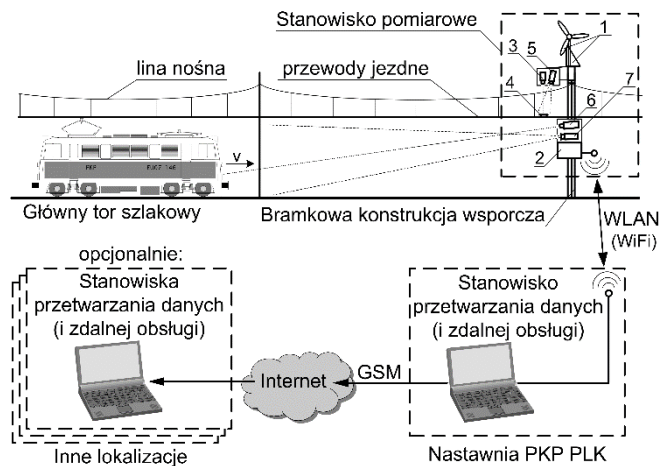
Rys. 2. Przebiegi unoszenia przewodów z badań symulacyjnych dla prędkości przejazdu ok.: a) 30 km/h, b) 130 km/h

W oparciu o ten model przeprowadzono obliczenia symulacyjne, na podstawie których wyznaczono spodziewany zakres zmian unoszenia przewodów jezdnych przy różnych wartościach siły nacisku statycznego odbieraka i różnych prędkościach przejazdu. Pozwoliło to określić wybrane parametry konstrukcyjne stanowiska oraz wymaganą rozdzielczość i dynamikę przetwornika pomiarowego. Przeprowadzone badania wskazały, że wzbudzone drgania własne sieci w nieznacznym stopniu wpływają na wartość maksymalnego unoszenia przewodów, występującego w chwili przejazdu odbieraka przez punkt pomiaru. Stwierdzono natomiast wpływ – prócz siły nacisku – również takich parametrów odbieraka jak: tłumienie, sprężystość i siły tarcia, a zatem wielkości związanych z jego stanem technicznym. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi unoszenia przewodów dla różnych wartości siły statycznej odbieraka – wartości te naniesiono na wykresie – dla dwóch różnych prędkości przejazdu.

### 3. STANOWISKO POMIAROWE

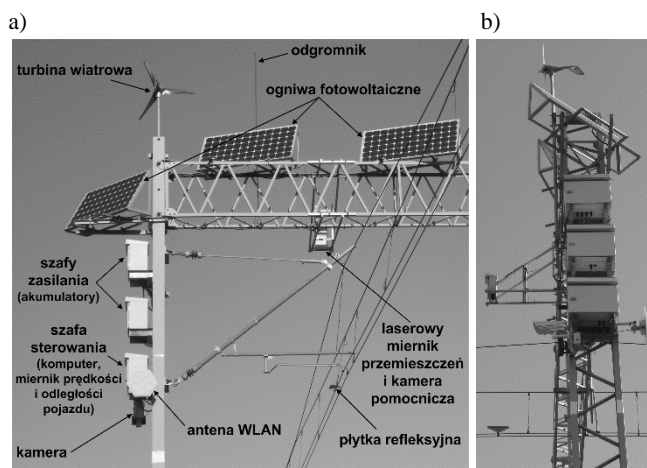
System MOP, którego strukturę przedstawiono na rysunku 3, składa się z następujących stanowisk:

- pomiarowego, którego zadaniami są: wykrycie nadjeżdżającego pojazdu, pomiar jego prędkości, wykonanie fotografii umożliwiających identyfikację pojazdu oraz uniesionego odbieraka (ew. odbieraków) prądu, rejestracja wartości uniesienia przewodów jezdnych podczas przejazdu pociągu, przesłanie wyników pomiaru do stanowiska przetwarzania danych przy wykorzystaniu sieci bezprzewodowej WLAN.
- przetwarzania danych, mające za zadanie odczyt plików z wynikami pomiaru uniesienia przewodów jezdnych oraz plików fotografii, przeliczenie wartości uniesienia na wartości siły statycznej działającej na przewody, wydanie decyzji o tzw. poziomie alarmu; stanowisko to jest również bramą dostępu do Internetu, co pozwala udostępniać wyniki pomiaru dodatkowym opcjonalnym stanowiskom przetwarzania danych.



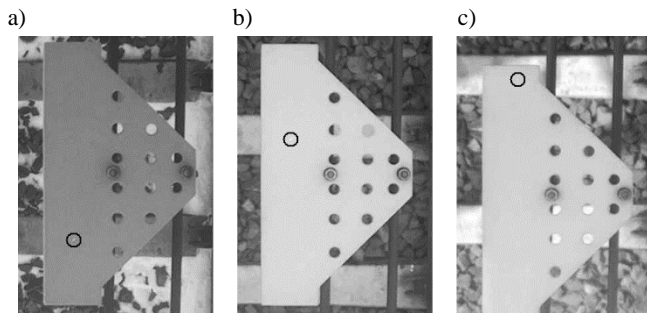
Rys. 3. Struktura systemu MOP: 1 – układ zasilania (turbina wiatrowa, panele FV), 2 – komputer pomiarowy, 3 – dalmierz laserowy pomiaru unoszenia przewodów, 4 – płytka refleksyjna na przewodach jezdnych, 5 – kamera do obserwacji płytki, 6 – dalmierz do detekcji pojazdu i pomiaru jego prędkości, 7 – kamera identyfikacji pojazdu

System działa w pełni automatycznie – nie wymaga ingerencji operatora. Widok części pomiarowej stanowiska MOP przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Stanowisko pomiarowe na linii kolejowej: a) widok wzdłuż osi toru, b) widok z boku

Pomiar uniesienia przewodów jezdnych realizowany jest jako pomiar odległości od dalmierza laserowego, zawieszzonego nad przewodami na sztywnym wysięgniku, do specjalnej płytki refleksyjnej, przytwierdzonej do przewodów jezdnych. Problem przesuwania się płytki, związany z kompensacją termiczną sieci jezdnej, rozwiązano poprzez odpowiedni dobór jej długości. Na rysunku 5 przedstawiono widok płytki z góry, z pomocniczej kamery umieszczonej obok dalmierza, przy bardzo zróżnicowanej temperaturze otoczenia – jasną plamkę, wskazującą miejsce padania promienia lasera, obrysowano tu czarnym okręgiem.



Rys. 5. Miejsce padania promienia lasera na płytkę refleksyjną przy temperaturze otoczenia: a)  $-14^{\circ}\text{C}$ , b)  $+12^{\circ}\text{C}$ , c)  $+30^{\circ}\text{C}$

Do identyfikacji pojazdu (jego typ i numer) oraz uniesionych odbieraków prądu służy kamera, wykonująca 3 fotografie przy odpowiednich odległościach czoła pociągu od stanowiska. Rysunek 6 przedstawia zestaw fotografii wykonywanych automatycznie dla wybranego pociągu.

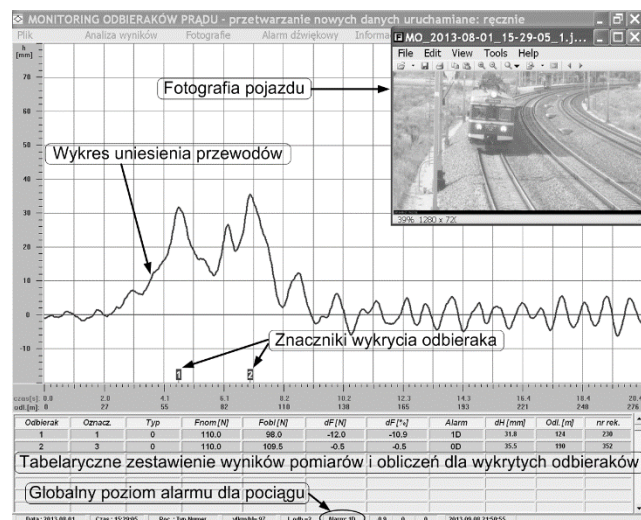


Rys. 6. Komplet fotografii dla wybranego pociągu umożliwiających identyfikację pojazdu i określenie uniesionych odbieraków

#### 4. OPROGRAMOWANIE ANALIZY WYNIKÓW

Z uwagi na pośredni charakter wyznaczania siły nacisku statycznego odbieraka na sieć oraz wpływ innych czynników na uniesienie przewodów, opracowano specjalistyczne algorytmy analizy wyników pomiarów. W oparciu o przebieg uniesienia przewodów i prędkość pociągu wykrywane są lokalizacje podniesionych odbieraków; dla każdego odbieraka program wyznacza siłę statyczną, uwzględniając efekt superpozycji oddziaływań odbieraków na lokalne maksima przebiegu uniesienia. Przy opracowaniu algorytmów analizy korzystano z modelu symulacyjnego, ale jego parametry zweryfikowano eksperymentalnie, wykonując na stanowisku pomiarowym szereg przejazdów kontrolnych lokomotywami o specjalnie wyregulowanych odbierakach. Mimo to wartości wyznaczonej siły nacisku statycznego mogą wykazywać wahania dochodzące – w niekorzystnych warunkach – nawet do kilkunastu niutonów. Wynika to głównie z dodatkowych ruchów przewodu wywołanych wiatrem, niewielkich drgań konstrukcji wsporczej i wysięgnika z przetwornikiem pomiarowym, wpływu sił tarcia w przegubach odbieraka, a także z dokładności aparatury pomiarowej. Przyjęto więc, że mimo wyznaczenia wartości siły nacisku statycznego odbieraka, podstawowym typem

informacji dla obsługi jest jego zgrubna ocena oparta na tzw. poziomie alarmu. Jest on uzależniony od przedziału, w którym znalazła się szacowana wartość siły. Kryteria, według których program generuje odpowiedni poziom alarmu, oparte są na przedziałach o 10. procentowej szerokości względem normatywnej wartości siły, która po wprowadzonej kilką lat temu zmianie stosowanych nakładek stykowych na węglowe powinna zawierać się w przedziale 100-110 N [7]. Rosnący cyfrowy poziom alarmu oznacza większe odchylenie, zaś litera D lub G mówi o kierunku tego odchylenia – w dół lub w górę. Aby przypadkowe fluktuacje wyników nie powodowały fałszywych ostrzeżeń, dopiero wyższe poziomy alarmu wymagają ingerencji operatora; program generuje wtedy ostrzeżenia dźwiękowe. Takie podejście wynika z głównego celu stanowiska, jakim jest wykrywanie odbieraków mogących uszkodzić sieć trakcyjną. Widok okna programu analizy wyników przedstawiono na rysunku 7.



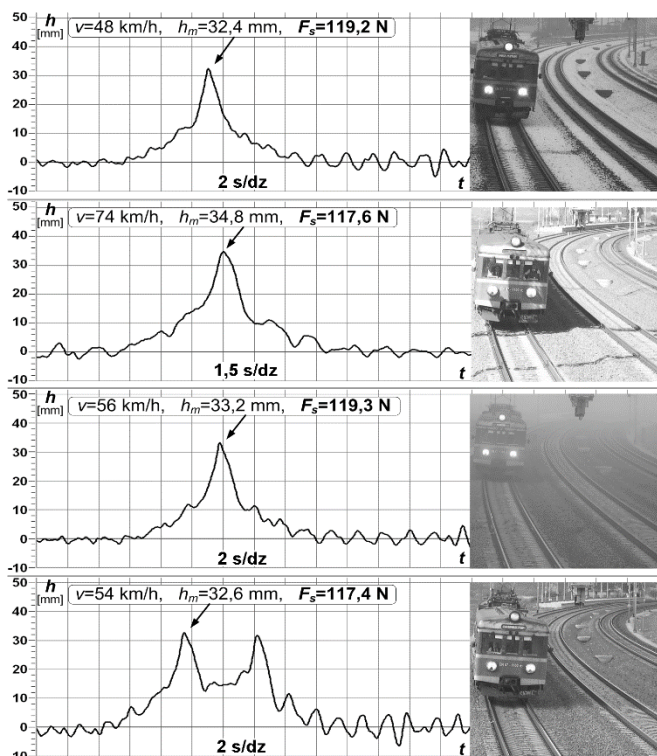
Rys. 7. Okno programu analizy wyników – naniesiono dodatkowo tekstowe objaśnienia ważniejszych elementów ekranu

#### 5. PRZYKŁADOWE WYNIKI MONITORINGU

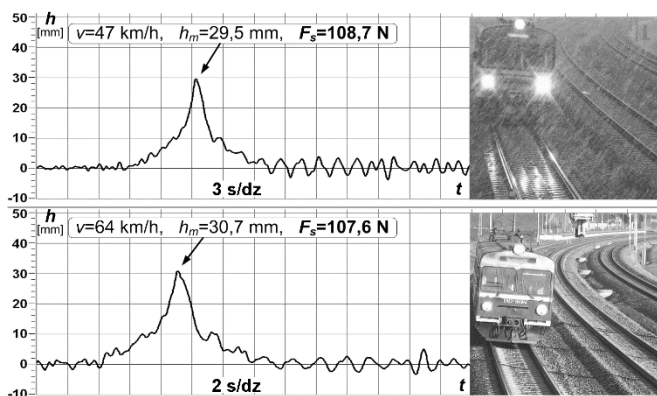
W okresie eksploatacji próbnej stanowiska prowadzono badania, dotyczące wpływu różnych warunków pomiaru na miarodajność generowanych ocen nastawy siły statycznej odbieraka [8]. W szczególności dotyczyło to określenia odporności na niekorzystne warunki atmosferyczne oraz weryfikacji algorytmów przetwarzania danych, uwzględniających wpływ prędkości jazdy i szacujących wpływ sąsiednich odbieraków na wartość uniesienia przewodów przy trakcji ukrotnionej tj. dla pociągów z kilkoma uniesionymi odbierakami. Sprawdzano powtarzalność wyniku obliczenia siły statycznej danego odbieraka w kolejnych dniach; dla wybranych odbieraków przeprowadzono ręczne pomiary kontrolne w lokomotywni. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe wyniki dla wybranego odbieraka przy silnie zróżnicowanych: temperaturach otoczenia, stopniach naświetlenia i przejrzystości powietrza, prędkościach jazdy, ostatni wynik dotyczy pracy w trakcji ukrotnionej. Różnice między obliczonymi wartościami siły nie przekroczyły 2 N.

Mimo zastosowania na otwartej przestrzeni dalmierzy laserowych o stosunkowo dużym zakresie działania stwierdzono, że nawet bardzo silne opady deszczu lub śniegu nie pogarszają jakości pomiaru. Na rysunku 9 przedstawiono przykładowe wyniki dla odbieraka, uzyskane podczas intensywnego opadu śniegu, oraz – kilka dni później – przy

korzystnych warunkach pogodowych. Istotne obniżenie dokładności oszacowania siły statycznej powodują jedynie bardzo silne podmychy wiatru.



Rys. 8. Wyniki pomiaru i obliczeń dla tego samego odbieraka uzyskane przy znacznie zróżnicowanych warunkach rejestracji; naniesione wartości liczbowe oznaczają:  $v$  – prędkość pociągu,  $h_m$  – wartość maksymalną uniesienia przewodów,  $F_s$  – oszacowaną siłę statyczną



Rys. 9. Wyniki pomiaru i obliczeń uzyskane dla odbieraka podczas silnego opadu śniegu i przy pełnym nasłonecznieniu

## 6. WNIOSKI

System MOP pozwala na wykrycie rozregulowanych i wadliwych odbieraków w warunkach eksploatacyjnych. Wyznaczona siła statyczna jest wartością szacunkową. Z tego względu wprowadzono ocenę poprzez tzw. poziom alarmu, determinujący ewentualną konieczność podjęcia interwencji przez obsługę. Proces pomiaru jest zautomatyzowany; stanowisko pomiarowe jest bezobsługowe. Proces przetwarzania danych odbywa się także automatycznie, jednak szczególnie przypadki powinny być weryfikowane przez operatora. Pilotażowe stanowisko, działające od jesieni 2011 r., charakteryzuje się dobrą powtarzalnością wyników niezależnie od warunków oświetleniowych i pogodowych oraz prędkości pociągu.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Kaniewski M.: Symulacja uniesienia przewodów jezdnych sieci trakcyjnej pod wpływem przejazdu wielu pantografów. Czasopismo Techniczne - T. 108, Zesz. 13/2011, s. 143-153, ISSN 0011-4561
2. Siemiński T., Jarosz T.: Odbieraki prądu i ich współpraca z siecią jezdnią. Warszawa WKŁ 1989, ISBN 83-206-0895-3
3. Schorno R., Schmidt C., Nietlispach U.: Zugkontrolleinrichtungen in der Schweiz. Elektrische Bahnen 109 (2011), H. 9, s. 448-458, ISSN 0013-5437
4. Luna Vázquez C. A., Mazo Quintas M., Marrón Romera M.: Non-contact sensor for monitoring catenary pantograph interaction. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bari, Italy, July 4-7, 2010, s. 482-487, ISBN 978-1-4244-6390-9
5. Möller H., Grebner L., Hofman D.: Stromabnehmer im laufendem Betrieb durch stationäre Anhubmessung. Elektrische Bahnen 100 (2002), H. 6, s. 198-203, ISSN 0013-5437
6. Park Y., Cho Y. H., Lee K., Jung H., Kim H., Kwon S., Park H.: Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application. 8th World Congress on Railway Research WCRR, Seoul, Korea, May 18-22, 2008
7. PN-EN 50367 Zastosowania kolejowe – Systemy odbioru prądu – Kryteria techniczne dotyczące wzajemnego oddziaływania między pantografem a siecią jezdnią górną (w celu uzyskania wolnego dostępu)
8. Jarzębowicz L., Judek S., Karwowski K., Karkosiński D., Mizan M.: Ocena stanu technicznego odbieraków prądu na podstawie monitoringu na linii kolejowej. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki PG, Nr 36/2013, ISSN 1425-5766

## MONITORING OF CURRENT COLLECTORS OF RAILWAY VEHICLES

**Key-words:** Traction Current Collector, Monitoring of Technical Condition, Contactless Measurement

Cases of maladjustment or damage of current collectors occur between periodic inspections of the rolling stock. A test stand for monitoring of the technical state of traction current collectors under normal operating conditions, ie. when trains run through the measuring point on the railway line, was created. The operation of the system is based on measurement and analysis of the contact wire uplift caused by the pressure of the current collector, in order to detect the collectors with the improper adjusted static force. This paper describes the structure of the entire monitoring system and the method of determining the static force value of current collectors. The paper presents and discusses examples of measurement results.