

Sławomir Judek, Marcin Sawczuk, Damian Więckiewicz

Wizyjny system pomiaru wybranych parametrów odbieraków prądu

Odbierak prądu jest elementem pojazdu trakcyjnego, służącym do ruchomego, stykowego połączenia obwodu głównego tego pojazdu z przewodem sieci trakcyjnej. Niewłaściwy stan techniczny tych ważnych elementów toru głównego pojazdu skutkuje ich nieprawidłową współpracą z siecią jezdnią. Okresowe kontrolowanie stanu technicznego odbieraków gwarantuje niezawodny odbiór prądu.

Diagnostyka techniczna lokomotyw obejmuje swym zakresem między innymi badanie napędu powietrznego pantografów. W dokumentach normatywnych, określających wymagania stawiane odbierakom prądu i metodykę ich badania, określa się, że ruch pionowy ślizgacza przy podnoszeniu i opuszczaniu za pomocą napędu powietrznego powinien odbywać się płynnie, bez zatrzymań i gwałtownych zmian prędkości, a jego dojście do przewodu i opadanie powinno się odbywać bez uderzeń. W celu umożliwienia wymiernej oceny stanu napędu odbieraków definiuje się miary parametrów czasowych określonych jako czas podnoszenia, czas opuszczania oraz czas odłączenia się styku ślizgacza. Diagnoza pod kątem tych parametrów odbywa się podczas przeglądów kontrolnych lokomotyw. Obecnie stosowane metody pomiarowe są mało dokładne i czasochłonne. W związku z tym zaistniała potrzeba projektu i realizacji automatycznego stanowiska pomiarowego gwarantującego lepszą dokładność oraz skracającego czas diagnostyki [1, 2, 4].

Metoda pomiaru

Wymogi dotyczące programu i metod badania odbieraków prądu określone są przez normę PN-K-91001:1997. Wśród wielu zapisów zawiera ona także wymagania i opis badań dotyczących sprawdzenia prawidłowości działania napędu powietrznego. W szczególności określa się sposób ruchu pionowego odbieraka poprzez kryteria czasowe:

- czas odłączania się styku ślizgacza – czas odłączania się styku ślizgacza od przewodu jezdniego na odległość 30 mm dla dowolnej wysokości podniesienia w zakresie roboczym nie powinien być dłuższy niż 3 s;
- czas opuszczania – czas opuszczania odbieraka z największej wysokości roboczej przy znamionowym ciśnieniu sprężonego powietrza powinien się zawierać w granicach od 5 do 10 s; przy temperaturze otoczenia poniżej -10°C dopuszcza się wydłużenie czasu opuszczania o 30%;
- czas podnoszenia – czas podnoszenia odbieraka do najwyższej wysokości roboczej przy znamionowym ciśnieniu sprężonego powietrza powinien się zawierać w granicach od 6 do 12 s; przy temperaturze otoczenia poniżej -10°C dopuszcza się wydłużenie czasu podnoszenia o 30%.

Sugerowany w przepisach sposób pomiaru czasów wymaga użycia stopera lub sekundomierza elektrycznego o dokładności

0,5 s. Odnośnie sposobu i warunków pomiaru odległości odłączania i wysokości roboczej norma nie podaje żadnych uwarunkowań [1].

Praktyczna realizacja sprawdzenia opisywanych parametrów wymaga zaangażowania przynajmniej zespołu dwuosobowego. Zadaniem jednej z osób wykonujących pomiar jest załączenie ruchu odbieraka. Druga osoba mierzy czasy. Chwila rozpoczęcia pomiaru sygnalizowana jest komendą głosową. Pomiar ten jest więc w swej naturze subiektywny, a jego wynik może ulec fałszowaniu.

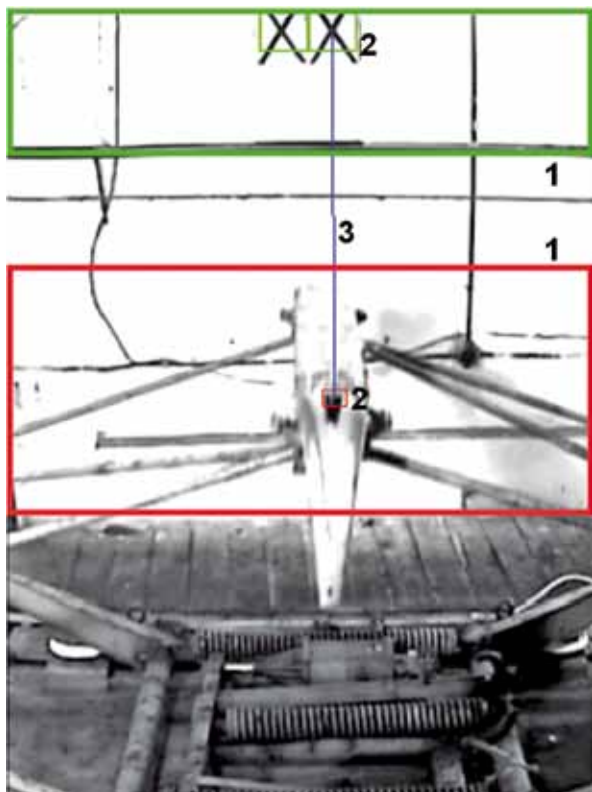
Uwzględniając wady obecnie stosowanych metod pomiarowych, wymagania wynikające z normy PN-K-91001:1997 oraz doświadczenia eksploatacyjne pracowników lokomotywowni zaproponowano budowę stanowiska do automatycznej diagnostyki czasowych parametrów odbieraków prądu lokomotyw opartego na metodzie wizyjnej [3].

Zastosowana metoda pomiarowa polega na tym, że w czasie badania rejestrowany jest ruch odbieraka za pomocą kamery. Pobrany obraz analizowany jest pod kątem istnienia w nim wcześniej zdefiniowanych elementów charakterystycznych, którymi są znaczniki pozycji oraz szczególnie znacznik obrazu jakim jest otwór konstrukcyjny ślizgacza. Elementy te są wyszukiwane w obrazie w celu wyznaczenia odległości między nimi. Wraz z ruchem odbieraka prądu, odległość ta ulega zmianie. Na tej podstawie można określić czasy odłączania się ślizgacza od przewodu jezdniego, czas opuszczania oraz czas podnoszenia. Przykładowy, zarejestrowany podczas badania, obraz wraz z zaznaczonymi charakterystycznymi elementami wykorzystywanymi do analizy ruchu odbieraka przedstawiono na rysunku 1 [5].

W skład stanowiska wchodzi: kamera, znaczniki pozycji, komputer klasy PC wyposażony w kartę akwizycji obrazu, karta wejść/wyjść cyfrowych oraz dedykowana aplikacja komputerowa. Ponadto układ pomiarowy powinien być wyposażony w element ograniczający ruch odbieraka w zakresie roboczym (rys. 2).

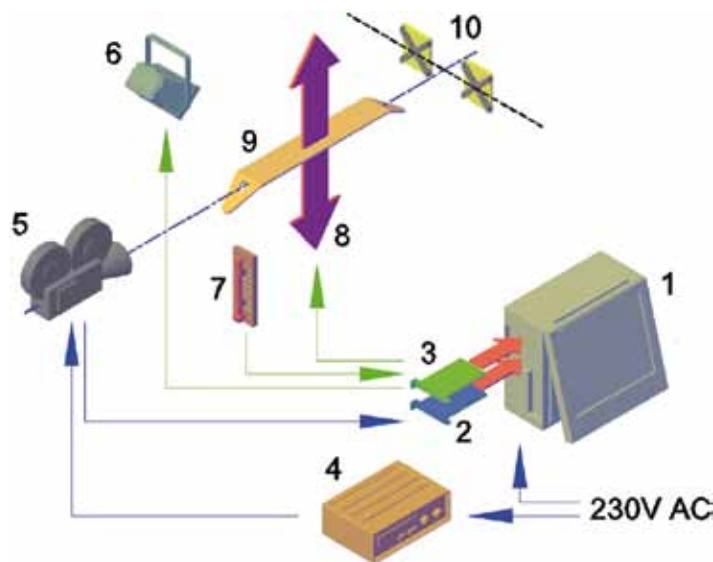
Zastosowanie automatycznego, stacjonarnego stanowiska diagnostycznego opartego na metodzie wizyjnej pozwala na wyeliminowanie wszystkich wad ręcznego pomiaru, a ponadto spełnia ono dodatkowe wymagania, takie jak:

- brak potrzeby montażu jakichkolwiek dodatkowych elementów konstrukcyjnych na lokomotywie oraz odbieraku – tzw. pomiar bezinwazyjny;
- możliwość zdalnej obsługi procesu pomiarowego z pomieszczenia oddalonego od lokomotywy – tzw. pomiar z wizualizacją *online*;
- automatyzacja procesu pomiarowego – proces pomiaru możliwy do realizacji przez jedną osobę dzięki wykorzystaniu sygnałów dostępnych poprzez złącza do jazdy ukrotnionej, wyniki reprezentowane w przystępnej dla operatora formie oraz jednoznacznie klasyfikowane jako spełniające normę bądź nie.



Rys. 1. Analizowany obraz

1 – obszary poszukiwania wzorców, 2 – odnalezione wzorce; u góry znacznik pozycji, na dole otwór konstrukcyjny ślizgacza, 3 – odległość między wzorcami



Rys. 2. Stanowisko do diagnostyki wizyjnej napędu głównego odbieraków prądu
1 – komputer PC, 2 – karta akwizycji obrazu, 3 – karta wejść/wyjść cyfrowych, 4 – zasilacz DC, 5 – kamera, 6 – oświetlacz, 7 – termometr, 8 – układ sterowania ruchem pantografu, 9 – Ślizgacz, 10 – znacznik pozycji



Rys. 3. Schemat blokowy aplikacji

Oprogramowanie stanowiska

Jednym z głównych elementów stanowiska diagnostycznego jest aplikacja Gnd-Pantograf. Program ten napisano w środowisku LabView [6]. Zadaniem aplikacji są: akwizycja obrazu poprzez kamerę i kartę akwizycji, analiza pobranego materiału, porównanie otrzymanych wyników z dopuszczalnymi zakresami i wygenerowanie na tej podstawie komunikatów diagnostycznych oraz prezentacja uzyskanych wyników. Realizowane jest to poprzez szereg podprogramów współpracujących ze sobą, których działanie determinowane jest za pomocą licznych ustawień. Dzięki możliwości konfiguracji wszystkich programów możliwe jest działanie aplikacji w różnych warunkach eksploatacyjnych oraz przebadanie wpływu tych ustawień na proces rozpoznawania, diagnozę, wyznaczanie czasów opuszczania i podnoszenia. W strukturze programu można wyróżnić cztery główne podprogramy, są to:

- pomiar,
- kalibracja,
- wzorce,
- ustawienia.

Ich logiczne połączenie przedstawiono na rysunku 3.

Menu główne umożliwia uruchomienie jednego z czterech głównych podprogramów tj. *Pomiar*, *Wzorce*, *Kalibracja*, *Ustawienia* lub też pozwala na zakończenie aplikacji. Podprogram *Ustawienia* służy do konfiguracji działania całego programu. *Kalibracja* służy do nauki geometrii stanowiska, poprzez zbudowanie bazy informacji o tym jakie rzeczywiste wymiary i współrzędne przypisać punktom, z których zbudowany jest analizowany obraz. Aplikacja *Wzorce* jest odpowiedzialna za fazę uczenia algorytmu dopasowywania wzorców. Za pomocą tego podprogramu generowane i zapisywane są wzorce, które będą wyszukiwane w fazie dopasowywania. Głównym działaniem podprogramu *Pomiar* (rys. 4) jest akwizycja obrazu, jego analiza oraz wyznaczanie czasów odłączania, opuszczania oraz podnoszenia.

W tym podprogramie prezentowane są także uzyskane wyniki wraz z właściwymi dla nich diagnozami, możliwy jest także zapis uzyskanych informacji do pliku. Dodatkowo prezentacja wyników zawiera przebieg zmian wysokości odbieraka. Podprogram *Pomiar* umożliwia analizę ruchu odbieraka zarówno przy unoszeniu, jak i opuszczaniu. Wybór konkretnej sytuacji pomiarowej dokonywany jest za pomocą dedykowanej opcji w menu użytkownika. Przykładowy widok ekranu z wynikami pomiaru w przypadku wyboru przez użytkownika opcji *Analiza opuszczania* przedstawiono na rysunku 4.

Dokładność pomiaru odległości

Pomiar czasów reakcji napędu odbieraka jest silnie skorelowany z pomiarem odległości. Przeprowadzone badania laboratoryjne systemu diagnostycznego wykazały, że niepewność pomiaru w zakresie do 0,03 m wynosi 0,001 m, natomiast w całym zakresie pomiarowym nie przekracza 0,01 m. Rezultaty takie uzyskano w sytuacji, w której odbierak znajduje się w jednej osi z kamerą i znacznikami, jak zostało to zaprezentowane na rysunku 5.

W sytuacji, w której lokomotywa zostanie ustawiona na stanowisku pomiarowym, tak że odbierak będzie przesunięty względem układu pomiarowego o pewną odległość, dokładność pomiaru nieznacznie maleje. Sytuacja taka została przedstawiona na rysunku 6.

Doświadczalnie zostało sprawdzone, że przesunięcie o 0,3 m nie zwiększa niepewności pomiaru w zakresie do 0,03 m, nato-



Rys. 4. Panel podprogramu Analiza opuszczania z widoczną trajektorią ruchu ślizgacza

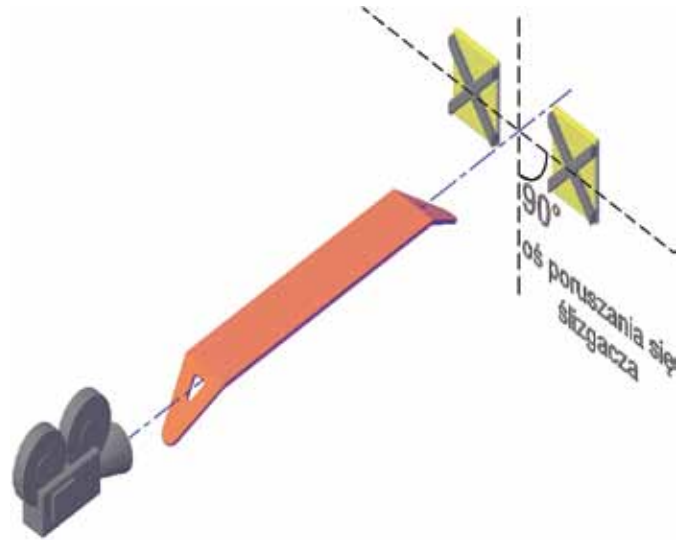
miast w całym zakresie zwiększa się do 0,02 m. Zależność między uchybem bezwzględnym Δd a zmierzoną odległością d dla obu przypadków przedstawiono na rysunku 7.

Dokładność pomiaru czasu

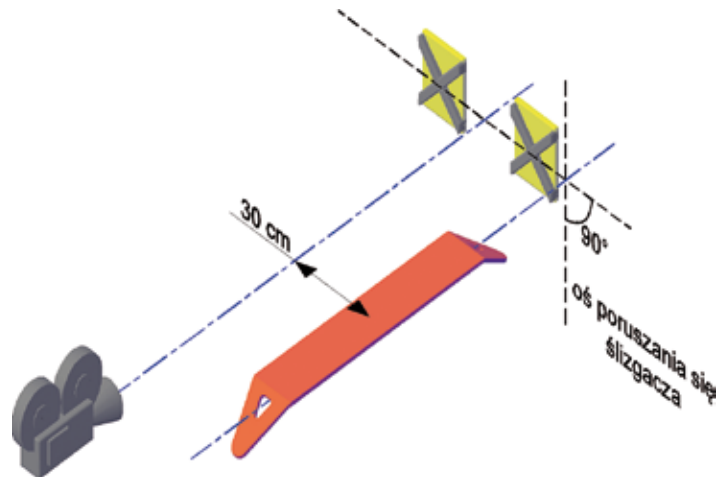
W przypadku pomiaru czasu odłączenia niepewność pomiaru skorelowana jest z uchybem pomiaru oddalenia się ślizgacza od jego górnego położenia na odległość 0,03 m. Uchyb ten jest nie przekracza 0,0015 m. Dodatkowo na skutek szumu pomiarowego może on ulec zwiększeniu do 0,0035 m. Zakładając, że zgodnie z normą ślizgacz pokonuje drogę 1,5 m w minimalnym czasie 5 s, jego maksymalna prędkość poruszania się może wynieść 0,3 mm/s. Zatem maksymalnemu błędowi pomiaru odległości na poziomie 0,0035 m odpowiada błąd pomiaru czasu rzędu 0,012 s.

W przypadku pomiaru czasów opuszczania i podnoszenia dokładność wyznaczenia czasu wiąże się jedynie z nastawą parametru o nazwie szerokość strefy nieczułości dostępnego w podprogramie *Ustawienia*. Parametr ten decyduje z jaką rozdzielczością, w dziedzinie odległości, rozpoznawane są skrajne położenia ślizgacza. Sama dokładność pomiaru odległości nie ma w tym przypadku większego znaczenia. Istotny może być jedynie szum pomiarowy. Zakładając, że *Szerokość strefy nieczułości* jest ustawiona na 0,01 m (domyślna wartość parametru), oraz że w skrajnym przypadku niedokładność wynikająca z szumu pomiarowego może wynieść 0,004 m (wielkość określona eksperymentalnie dla danego stanowiska pomiarowego), błąd pomiaru czasu zatrzymania, wynikający z niedokładności pomiaru odległości, może wynieść 0,0047 s. Wartość tego błędu wynika z szybkości pobierania obrazu z kamery. Dla analizowanego układu prędkość ta wynosi około 6,5 klatek na sekundę. Zatem wszystkie czasy są mierzone z dokładnością nie gorszą niż 0,15 s.

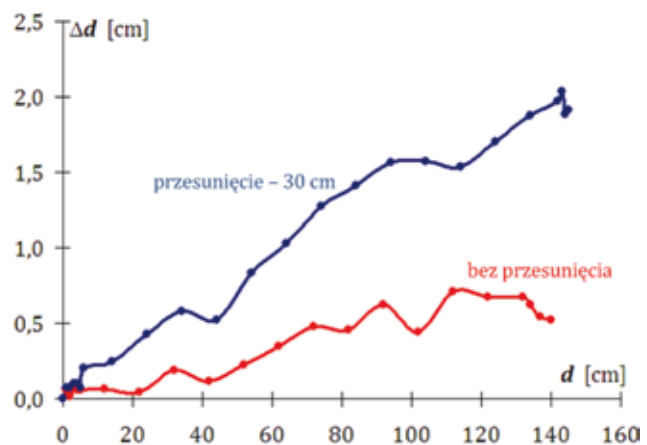
Podsumowując, dla zastosowanej metody pomiarowej i konfiguracji sprzętowej stanowiska niepewność pomiaru czasu wynosi nie więcej niż 0,2 s. Norma wymaga, aby wszystkie czasy były mierzone z dokładnością do 0,5 s, zatem wymaganie to jest spełnione z nadmiarem.



Rys. 5. Prawidłowe usytuowanie elementów układu pomiarowego



Rys. 6. Przesunięcie pantografu względem układu pomiarowego z dwoma znacznikami

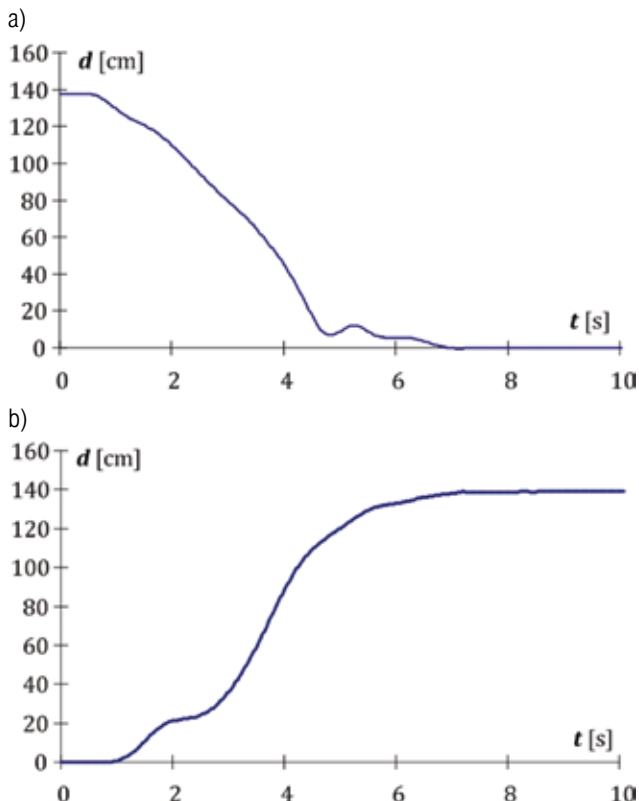


Rys. 7. Zależność błędów bezwzględnych Δd od odległości d w przypadku przesunięcia znaczników i kamery o 30 cm

Badania eksploatacyjne

Zbudowane stanowisko przebadano w warunkach laboratoryjnych, a także eksploatacyjnych, w lokomotywni PKP Intercity w Gdyni. Ruch pantografu ograniczony był od góry za pomocą stalowej linki znajdującej się na stanowisku. Odległość między skrajnymi położeniami pantografu wynosiła 138 cm.

Na rysunku 8 przedstawiono uzyskane przebiegi dla podnoszenia i opuszczania.



Rys. 8. Charakterystyka ruchu odbieraka uzyskana w warunkach eksploatacyjnych
a) charakterystyka podnoszenia, b) charakterystyka opuszczania

Norma PN-K-91001:1997 w zakresie metod sprawdzenia działania napędu powietrznego wymaga zbadania, czy pantograf porusza się w sposób płynny, opada w sposób łagodny na gumowych odbojach oraz łagodnie dochodzi do przewodu jezdny. Zalecane jest to poprzez pięciokrotne powtórzenie cykli czynności mechanicznych za pomocą napędu powietrznego przy ciśnieniu znamionowym i skrajnych wartościach ciśnienia poprzez obserwację ruchu pionowego odbieraka [1]. Ze swej natury sprawdzenie takie jest silnie zależne od subiektywnej oceny osoby wykonującej pomiary. Przyjęta metoda wizyjna pozwala na uzyskana charakterystyk zmian wysokości uniesienia odbieraka w funkcji czasu, co dotychczas było nieosiągalne. Uzyskiwane tym sposobem wyniki są znacznie dokładniejsze od wymaganych i powtarzalne, zatem stanowią obiektywne źródło informacji diagnostycznej.

Badania w warunkach laboratoryjnych oraz eksploatacyjnych potwierdziły skuteczność działania układu. Błąd pomiaru czasu okazał się być ponad dwukrotnie mniejszy od dopuszczalnego przez normę.

Zastosowanie metody wizyjnej pozwala na nieinwazyjny pomiar. Nie jest wymagany montaż żadnych urządzeń ani na lokomotywie, ani na samym odbieraku. Ponadto umożliwia to dokonanie pomiaru w sposób ciągły. W związku z tym możliwe jest zdjęcie przebiegów zmian wysokości ślizgacza.

Podsumowanie

Prawidłowy odbiór prądu z sieci jezdnej trakcji elektrycznej jest jednym z podstawowych elementów sprawnego funkcjonowania transportu szynowego. Na jakość odbioru prądu wpływa między innymi prawidłowe utrzymanie i regulacja odbieraków prądu. Powstałe stanowisko do diagnostyki technicznej spełnia wymagania wynikające z zapisów normy.

Zastosowanie metody wizyjnej do pomiaru czasów opuszczania i podnoszenia jest rozwiązaniem innowacyjnym w stosunku do obecnie stosowanych metod pomiarowych i może stanowić uzupełnienie literatury przedmiotowej. Uzyskiwane wyniki są dokładne i powtarzalne. Pomiar może być przeprowadzany w całym zakresie roboczym. Aplikacja komputerowa stanowiąca trzon systemu diagnostycznego jest intuicyjna i łatwa w obsłudze, a rezultaty pomiarów wraz z diagnozą prezentowane są w czytelny sposób.

Wizyjne stanowisko diagnostyczne, w sposób znaczący skracając czas potrzebny na przeprowadzenie pomiarów czasu odłączania się ślizgacza, opuszczania i podnoszenia, zapewniając dużą dokładność i z powodzeniem może być używane w badaniach eksploatacyjnych.



Literatura

- [1] PN-K-91001:1997 *Elektryczne pojazdy trakcyjne. Odbieraki prądu. Wymagania i metody badań*. Polski Komitet Normalizacyjny (PKN) 1997.
- [2] Siemiński T., Jarosz T.: *Odbieraki prądu i ich współpraca z siecią jezdnią*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1989.
- [3] Karwowski K., Leman S., Mizan M., Pazdro P., Reducha W.: *Terenowe stanowisko pomiarowe do diagnostyki technicznej odbieraków prądu*. Technika Transportu Szynowego 3/2008, s. 44–49.
- [4] *Dokumentacja technologiczna przeglądów lokomotyw elektrycznych serii EU07. Przegląd kontrolny – PK*. Nr opracowania T – EU07 0302 – 2. PKP „CARGO” Spółka Akcyjna. Centralne biuro konstrukcyjne w Poznaniu, Poznań 2002.
- [5] Sonka M., Hlavac V., Boyle R.: *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Thomson Learning, 2008.
- [6] Sawczuk M., Więckiewicz D.: *Projekt i wykonanie układu do automatycznej diagnostyki wybranych parametrów odbieraków prądu lokomotyw*. Praca dyplomowa magisterska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2009.

Stawomir Judek, e-mail: s.judek@ely.pg.gda.pl

Marcin Sawczuk

Damian Więckiewicz

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki