

Przemysław Pazdro, Krzysztof Karwowski, Mirosław Mizan, Jacek Skibicki

## Koncepcja monitoringu dynamicznego oddziaływania odbieraka prądu w warunkach eksploatacyjnych

**Prawidłowy odbiór prądu z sieci jezdnej trakcji elektrycznej jest jednym z podstawowych elementów niezawodnego funkcjonowania zelektryfikowanego transportu szynowego, zwłaszcza przy dużych prędkościach jazdy. Na jakość odbioru prądu wpływają dwa czynniki:**

- 1) konstrukcja sieci jezdnej i odbieraków prądu,
- 2) prawidłowe utrzymanie i regulacja tych dwóch elementów systemu odbioru prądu.

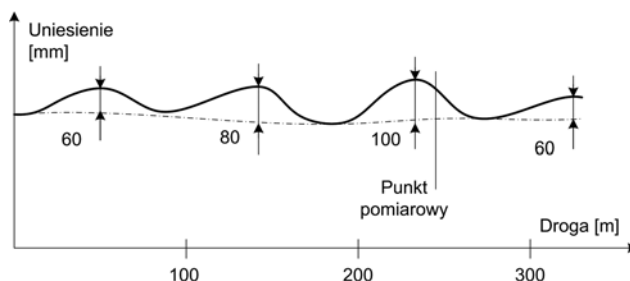
Na jakość utrzymania w istotny sposób wpływa wykorzystanie diagnostyki technicznej. Diagnostyka techniczna sieci jezdnej została wdrożona wiele lat temu i jest od tego czasu stale rozwijana i doskonalona [1]. Jeśli chodzi o diagnostykę techniczną odbieraków prądu, prowadzone są prace badawcze i podejmowane próby wdrożenia wypracowanych metod w praktyce. Zespół Zakładu Trakcji Elektrycznej na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej zrealizował dwa projekty badawcze dotyczące diagnostyki odbieraków prądu. Pierwszy z nich dotyczył metody pomiaru charakterystyki statycznej odbieraka prądu w warunkach eksploatacyjnych podczas przejazdu lokomotywy przez specjalny tor pomiarowy [1]. Projekt ten został wdrożony w 2007 r. na terenie Zakładu Taboru PKP CARGO w Gdyni. Drugi projekt dotyczył badań diagnostycznych węzła zawieszenia ślizgacza metodą wibracyjną i można mieć nadzieję, że ta metoda również zostanie wprowadzona do eksploatacji [4]. Obecnie, w ramach projektu badawczego finansowanego przez Departament Badań MNiSW, prowadzone są badania nad monitoringiem stanu odbieraków prądu w normalnej eksploatacji na liniach PLK.

Prezentowany obecnie projekt wpisuje się w logiczny ciąg badawczy jako kontynuacja dotychczas prowadzonych badań. Celem jest obserwacja punktowa oddziaływania odbieraków prądu na sieć jezdnią w normalnych warunkach ruchowych, a tym samym – przy przyjęciu pewnych kryteriów – umożliwienie wykrycia niesprawnych odbieraków. Metody diagnostyczne, opracowane w ramach przytoczonych i zakończonych projektów, należą do sfery działań zapobiegawczych, przeprowadzanych w określonych zakładach taboru, gdzie sprawdzany i badany jest na ogół jedynie tabor podległy tym zakładom. Uszkodzenia odbieraków prądu, zagrożające ich poprawnej współpracy z siecią jezdnią, mogą jednak powstać już po wyjeździe lokomotywy lub zespołu trakcyjnego na trasę. Ponadto po otwarciu rynku transportowego, na liniach PLK eksploatowane są pojazdy trakcyjne różnych przewoźników, niepodlegające kontroli w zakładach taboru PKP. W interesie właściciela infrastruktury leży wprowadzenie do użytku systemu kontroli stanu odbieraków na linii. Z założenia musi to być system prosty, łatwy do zainstalowania oraz nie wpływający na własności dynamiczne sieci trakcyjnej. Równocześnie wyniki pomiarów

otrzymywanych za jego pomocą muszą być wiarygodne i umożliwiać jednoznaczne określenie stanu technicznego odbieraka.

### Oddziaływanie odbieraka prądu na sieć trakcyjną

Efektom statycznego i dynamicznego oddziaływania odbieraka na sieć jezdnią jest pewne uniesienie sieci w punkcie styku odbieraka z siecią, co w uproszczony sposób przedstawiono na rysunku 1 [3]. Wielkość uniesienia można mierzyć w odpowiednim punkcie pomiarowym.



Rys. 1. Przykład trajektorii punktu styku odbieraka z siecią przy dużej prędkości jazdy

Wysokość dynamicznego uniesienia zależy od konstrukcji sieci (elastyczności i jej równomierności), typu odbieraka, jego stanu technicznego oraz prędkości jazdy. Zakłada się, że w wybranych punktach na sieci kolejowej zostaną zainstalowane urządzenia pomiarowe, które przy przejeździe dowolnego pojazdu będą mierzyły, rejestrowały i oceniały pewne wielkości, na podstawie których będzie można określić jakość współpracy odbieraków prądu z siecią. Tymi wielkościami mogą być: uniesienie przewodów, siły oddziaływania odbieraka na przewody, przyspieszenia w punkcie styku. Przekroczenie określonych wielkości tych parametrów oznaczałoby przejazd pojazdu z niesprawnym odbierakiem, o czym informowany byłby najbliższy posterunek ruchu, który podejmowałby interwencję.

Problemami naukowymi i praktycznymi do rozwiązania są:

- wybór parametru miarodajnego do oceny jakości działania odbieraka,
- sposób pomiaru, bez wnoszenia zakłócenia do współpracy odbieraka z siecią,
- kryteria oceny na podstawie analizy teoretycznej, eksperymentów laboratoryjnych oraz badań przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych na linii kolejowej.

### Metoda badawcza

W laboratorium Zakładu Trakcji Elektrycznej Politechniki Gdańskiej zbudowano model fizyczny odcinka sieci w skali ok. 1:5 oraz model odbieraka umieszczony na ruchomym wózku. Strukturę stanowiska laboratoryjnego przedstawiono schematycznie na

rysunku 2. Model odwzorowuje odcinek sieci półskompensowanej długości jednego przęsła. Linią przerywaną zaznaczono spoczynkowe położenie przewodu jezdny, tzn. bez obecności odbieraka na monitorowanym przęsle zawieszenia sieci. Napęd wózka z modelem odbieraka pozwala na uzyskanie prędkości ok. 3 m/s. Głównym celem badań laboratoryjnych jest sprawdzenie przydatności różnych typów czujników pomiarowych. Wybrane najlepsze rozwiązanie będzie zastosowane podczas badań terenowych na linii kolejowej.

Podczas wyboru parametru, mogącego posłużyć ocenie stanu technicznego odbieraka prądu, należy przeanalizować, które zjawiska, zachodzące podczas dynamicznego oddziaływania na styku odbierak – sieć jezdna, są zależne od stanu technicznego odbieraka. Uniesienie przewodu – przy określonej prędkości – zależy od parametrów dynamicznych sieci jezdnej, konstrukcji odbieraka, sił aerodynamicznych, stanu torów i nacisku statycznego odbieraka na sieć. Jedynie ostatnia wielkość zależy od procesów utrzymania, czyli bieżącego stanu sprawności odbieraka.

Jednak nie wydaje się, aby uniesienie przewodu było wystarczającym parametrem dla pełnej jego oceny. Należy jeszcze zwrócić uwagę na siły i przyspieszenia pionowe występujące w punkcie pomiarowym, które zależne są między innymi od stanu elementów zawieszenia ślizgacza odbieraka prądu. Interesujące są również przebiegi składowej poziomej tych wielkości; mogą one wskazywać między innymi na zły stan nakładki ślizgowej odbieraka (wyżłobienia).

Typ i konstrukcja czujnika pomiarowego zależy od wyboru charakterystycznego parametru do oceny stanu odbieraka. Do celów diagnostyki funkcjonalnej odbieraków prądu konieczne jest wybranie techniki pomiarowej stosunkowo prostej, taniej i niezawodnej.

Wielkości pomiarowe można podzielić na dwie grupy związane z:

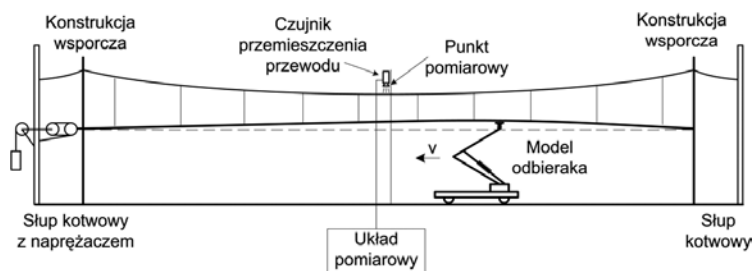
- 1) pomocniczymi wielkościami pomiarowymi,
- 2) głównymi wielkościami pomiarowymi (podlegającymi ocenie diagnostycznej).

Parametry pomocnicze to: czasy inicjacji i zatrzymania pomiaru, prędkość ruchu pojazdu oraz czas astronomiczny. Do parametrów głównych zaliczymy: przemieszczenie przewodu, siłę oddziaływania w układzie sieć – odbierak, prędkość ruchu przewodu jezdny lub jego przyspieszenie.

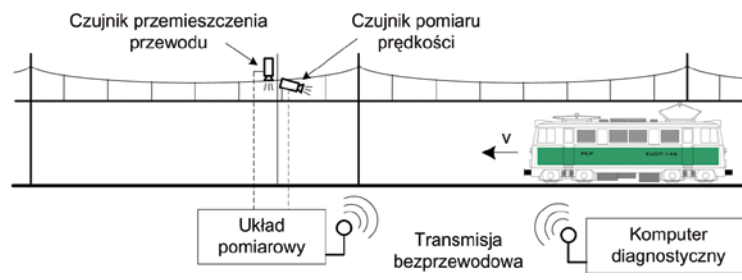
Na stanowisku laboratoryjnym pomocnicze wielkości pomiarowe są rejestrowane w sposób uproszczony – techniką obserwacji bezpośredniej. Pomiar głównych wielkości jest zrealizowany za pomocą podzespołów tego samego typu jak w stanowisku terenowym, które będzie musiało być wyposażone dodatkowo w odpowiednie czujniki wielkości pomocniczych. Schemat przykładowego rozmieszczenia czujników na stanowisku terenowym przedstawiono na rysunku 3.

## Technika pomiarowa

Wiele firm, produkujących detektory, czujniki i przetworniki pomiarowe, przedstawia szeroką ofertę urządzeń do: wykrywania obiektów, pomiaru sił, przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń. Jednakże warunki środowiskowe w trakcji elektrycznej, a przede



Rys. 2. Schemat blokowy laboratoryjnego stanowiska pomiarowego



Rys. 3. Schemat funkcjonalny terenowego stanowiska pomiarowego

wszystkim pomiary na potencjale sieci 3 kV, utrudniają konstrukcję systemu diagnostycznego i ograniczają wybór przyrządów pomiarowych. Układy pomiarowe wymagają separacji galwanicznej od potencjału sieci. Ułatwieniem mogą być czujniki do pomiarów bezstykowych, np. laserowe, indukcyjne, radiowe czy ultradźwiękowe. Napotyka się tu ograniczenia związane z rozdzielczością pomiaru i zasięgiem.

Technika pomiarowa umożliwia pomiar:

- przemieszczeń przewodów za pomocą koderów optoelektronicznych lub czujników: potencjometrycznych, indukcyjnych, żyroskopowych, laserowych,
- sił za pomocą układów tensometrycznych lub indukcyjnych,
- przyspieszeń i wykrywania uderzeń za pomocą czujników indukcyjnych lub elektronicznych akcelerometrów.

Wszystkie wymienione urządzenia i techniki pomiarowe są dostępne na rynku. Ważne jest, aby czujniki pomiarowe nie zmieniały w istotny sposób właściwości dynamicznych sieci jezdnej, a tym samym nie tworzyły tzw. „twardego punktu sieci”, co powodowałoby zagrożenie dla prawidłowego odbioru prądu. Jest to przyczyna praktycznie eliminująca możliwość dokonywania pomiarów sił za pomocą tensometrów.

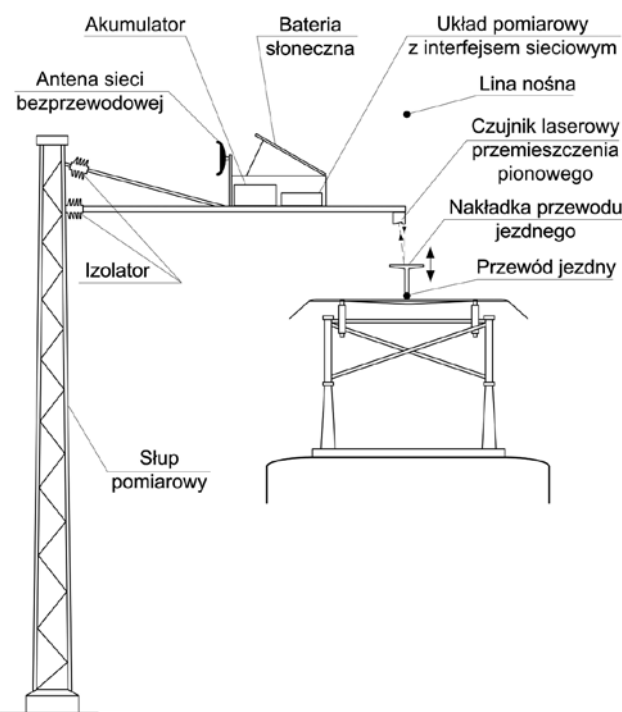
Korzystnym rozwiązaniem wydaje się użycie dalmierzy laserowych do wyznaczenia przemieszczeń przewodu jezdny. Układy te mierzą odległość do obiektu na zasadzie lokalizacji na powierzchni fotodetekcyjnej czujnika, punktu padania strumienia laserowego odbitego od obiektu. Zatem pomiar jest wykonywany bezkontaktowo. Brak bezpośredniego sprzężenia mechanicznego układu pomiarowego z przewodem jezdny eliminuje jego wpływ na właściwości dynamiczne sieci. Ponadto ułatwione jest zapewnienie separacji galwanicznej urządzeń pomiarowych od potencjału sieci.

W czujnikach laserowych kompromisem jest wybór zakresu pomiarowego i rozdzielczość pomiaru. Układy o wysokiej dokładności pomiaru charakteryzują się niewielkim zakresem pomiarowym i małą odległością czujnika od obiektu. W rozpatrywanym układzie istotna jest zarówno odległość między czujnikiem i przewodem jezdny, która – ze względów konstrukcyjnych – podlega

silnym ograniczeniem, a z drugiej strony musi zapewnić bezpieczną przerwę izolacyjną, jak i wymagany zakres pomiarowy, który wynika z zakresu przemieszczeń przewodu jezdnego pod wpływem działania siły odbieraka. Wykorzystując laserowy układ pomiarowy można osiągnąć dokładność pomiaru ok. 0,1 mm przy zakresie pomiarowym rzędu kilkunastu centymetrów z odległości kilkudziesięciu centymetrów. Istotnym parametrem jest częstotliwość graniczna sygnału pomiarowego. Zakładając prędkość maksymalną  $v_{\max} = 160 \text{ km/h} = 44,4 \text{ m/s}$ , odcinek pomiarowy przejeżdżany jest w czasie ok. 1,5 s. Na podstawie pomiarów przeprowadzonych przez CNTK na linii CMK [2] można stwierdzić, że maksymalne prędkości ruchu przewodu jezdnego dochodzą do 1 m/s, zaś maksymalne wielkości przemieszczeń nie przekraczają 40 mm. Przy założeniu, że ruch przewodu odbywa się z maksymalną, podaną prędkością, czas trwania przemieszczenia wyniesie ok. 40 ms. Do określenia przebiegu tego ruchu z dokładnością pozwalającą wiarygodnie określić wielkości przyspieszenia, a pośrednio siły oddziaływania odbieraka, należy zmierzyć nie mniej niż kilkadziesiąt punktów pomiarowych w zakresie tego przemieszczenia, zatem częstotliwość graniczna przetwornika nie powinna być niższa niż ok. 1 kHz.

Sygnałem wyjściowym przetworników laserowych jest z reguły analogowy sygnał prądowy 4÷20 mA i/lub napięciowy 0÷10 V, co powoduje konieczność wyposażenia stanowiska w dodatkowy układ z przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Do niektórych czujników tego typu producenci oferują kontrolery, dostarczające dane pomiarowe w standardzie interfejsu szeregowego lub sieciowego. Zaletą interfejsu ethernetowego jest możliwość przesyłania danych z dużą szybkością.

Dodatковым problemem jest zasilanie układów pomiarowych oraz przesyłanie informacji o ewentualnej niesprawności odbieraka do stanowiska służb kontroli ruchu. Ze względu na lokalizację układów pomiarowych na konstrukcji wsporczej przy torze, w ob-



Rys. 4. Przykład konstrukcji stanowiska z pomiarem przemieszczenia przewodu w obydwu kierunkach za pośrednictwem czujników laserowych

szarze oddziaływania potencjału sieci zasilającej, wymagane jest przyjęcie rozwiązań zapewniających bezpieczeństwo obsługi i niezawodność pracy systemu. Proponowaną konstrukcją stanowiska terenowego do pomiaru przemieszczeń z wykorzystaniem czujników laserowych przedstawiono na rysunku 4. Wszystkie elementy układu pomiarowego umieszczone są tu na konstrukcji, złożonej z dwóch równoległych do siebie par typowych wysięgników, jakie stosuje się do podwieszenia przewodu jezdnego. Do wysięgników przymocowana jest skrzynia z układami pomiarowymi i zasilającymi oraz wsporniki do mocowania czujnika i anteny łączności bezprzewodowej.

Ze względu na małą średnicę przewodu i jego drgania, bezpośredni pomiar położenia przewodu jest utrudniony. Zastosowanie odpowiednio ukształtowanej nakładki, sztywno potąconej z przewodem jezdnym, pozwoli na pomiar przemieszczenia przewodu za pomocą laserowego przetwornika odległości, przymocowanego do nieruchomego wspornika.

Sygnał pomiarowy z czujnika laserowego doprowadzony zostanie do autonomicznego układu pomiarowego o częstotliwości próbkowania rzędu 200 kS/s, wyposażonego w interfejs sieciowy. Za pośrednictwem punktu dostępowego bezprzewodowej sieci lokalnej WLAN (*Wireless Local Area Network*) zintegrowanego z anteną nadawczo-odbiorczą, przebiegi sygnału transmitowane będą do komputera diagnostycznego umieszczonego w budynku podstacji trakcyjnej, gdzie będą rejestrowane i analizowane. Układy tego typu przy odległościach do 3 km umożliwiają transmisję z szybkością 54 Mbit/s, zatem nie ograniczają szerokości pasma zastosowanego modułu pomiarowego.

Ze względów bezpieczeństwa i z uwagi na lokalizację układów pomiarowych w dużej odległości od sieci zasilającej niskiego napięcia, przewiduje się użycie autonomicznego źródła zasilania. Stosunkowo prostym rozwiązaniem jest akumulator, doładowywany w ciągu dnia przez układ zawierający baterię słoneczną.

Rejestracja wielkości pomiarowych winna dotyczyć czasu, w którym odbierak pojazdu znajduje się w strefie kontrolowanego przęśła zawieszenia – poza nim oddziaływanie odbieraka będzie zbyt silnie tłumione, aby mogło podlegać ocenie. Konieczne jest więc wykrywanie pojazdu i punktowy pomiar jego prędkości. Bieżąca lokalizacja podczas przejazdu przez odcinek pomiarowy nie jest konieczna, można bowiem założyć, że prędkość jazdy na odcinku jednego przęśła zawieszenia nie zmienia się w sposób znaczący, zwłaszcza przy dużych jej wielkościach. Pomiar prędkości może być dokonany za pomocą laserowego miernika pomiaru odległości i prędkości, który równocześnie może służyć do wykrywania pojazdu i tym samym inicjacji pomiaru. Układy tego typu działają w oparciu o pomiar czasu od wystąpienia wiązki laserowej do odebrania strumienia odbitego od powierzchni obiektu, do którego odległość jest mierzona. Różnica odległości między kolejnymi pomiarami jest podstawą do określenia prędkości. Urządzenia dostarczają sygnał wyjściowy w postaci analogowej lub poprzez wbudowany interfejs szeregowy, co pozwala dołączyć je do komputera zbierającego dane pomiarowe.

Zasadniczym zadaniem modułu pomiarowego jest rejestracja danych pomiarowych z czujników umieszczonych na sieci trakcyjnej. Ze względu na lokalizację musi to być układ w wykonaniu przemysłowym, o zwartej konstrukcji, odporny na warunki atmosferyczne, specyficzne dla sprzętu pracującego na wolnym powietrzu. Wymagana jest również odporność na wysoki poziom zakłóceń elektromagnetycznych.

Komputer diagnostyczny stanowiska odbiera dane z modułu pomiarowego poprzez interfejsy transmisji bezprzewodowej. Oprócz ciągłego zbierania i rejestracji danych pomiarowych, winien on wykrywać również ewidentne przekroczenia parametrów krytycznych i sygnalizować je obsłudze w trybie alarmowym.

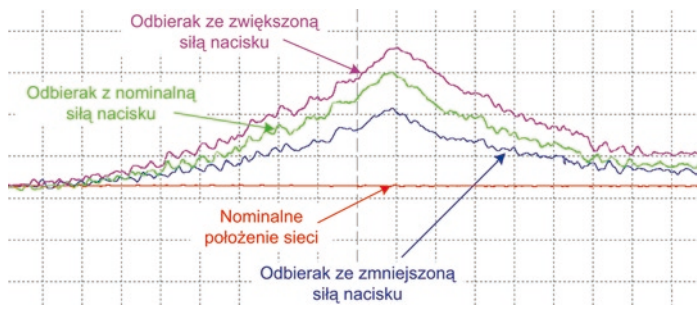
## Wyniki badań laboratoryjnych

Przeprowadzono wstępne badania laboratoryjne z wykorzystaniem opisanego stanowiska. Badania polegały na wykonaniu pomiarów uniesienia przewodu jezdnego w wybranym punkcie pomiarowym przy zmiennej wielkości siły docisku odbieraka i stałej prędkości ruchu modelu pojazdu, która we wszystkich przypadkach była jednakowa i wynosiła ok. 2 m/s. Wyniki pomiarów dla trzech różnych wielkości siły docisku odbieraka przedstawiono na rysunku 5.

Wyniki pomiarów pokazują wyraźną zależność stopnia uniesienia przewodu jezdnego od siły nacisku odbieraka. Wielkość uniesienia przewodu jezdnego zależy także od prędkości pojazdu oraz położenia punktu pomiarowego względem konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej. Wyniki te wskazują również, że wykrywanie nieprawidłowego stanu technicznego odbieraka prądu podczas jazdy jest możliwe.

## Wnioski

Prototypowe stanowisko do monitoringu parametrów technicznych odbieraków prądu w warunkach ruchowych na linii kolejowej powinno umożliwiać pomiar wielkości związanych z oddziaływaniem odbieraka na sieć jezdną. Brak rozwiązań w literaturze dotyczących wyboru parametrów pomiarowych, techniczne trudności pomiarowe, między innymi wpływ zakłóceń oddziaływujących na przewód jezdny, powodują, że badania terenowe – niezbędne do ostatecznego określenia kryteriów oceny diagnostycznej – muszą być starannie zaplanowane. Analiza pomiaru wybranych parametrów na stanowisku laboratoryjnym pozwoliła na wybór wielkości pomiarowej na linii kolejowej. Ostateczne kryteria oceny będą oparte o prowadzone w trybie ciągłym badania na linii o dużym natężeniu ruchu. Wyniki badań terenowych powinny dać podstawy do opracowania eksploatacyjnej wersji stanowiska.



Rys. 5. Wyniki badań laboratoryjnych dla trzech wielkości siły docisku odbieraka i stałej prędkości jazdy; skala uniesienia przewodu: 20 mm/dz

## Literatura

- [1] Giętkowski Z., Karwowski K., Mizan M., Pazdro P.: *Review of research and development on the technical diagnostics in the field of electric traction*. *Pomiary Automatyka Kontrola* 12/2003, s. 66-70.
- [2] Kaniewski M., Majewski W., Rojek A.: *Badania rozjazdów sieci trakcyjnej typu 1C120-2C*. *Mat. VII Międzynarodowej Konferencji MET'2005*. Warszawa 29.09–1.10.2005.
- [3] Kießling F., Puschmann R., Schmieder A.: *Contact lines for electric railways*. Publicis – Siemens AG, Munich 2001.
- [4] Pazdro P., Mizan M.: *Technical diagnostics of traction current collectors*. *Int. Conf. on Ship Propulsion and Railway Traction Systems*. Bologna, Italy, 4-6 October 2005.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2008, jako projekt badawczy.

## Autorzy

prof. dr hab. inż. Przemysław Pazdro

dr hab. inż. Krzysztof Karwowski

dr inż. Mirosław Mizan

dr inż. Jacek Skibicki

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki