Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 34

II Sympozjum

AKTUALNE PROBLEMY W METROLOGII' 2013

Katedra Metrologii i Systemów Informacyjnych Politechniki Gdańskiej

WYKORZYSTANIE SYSTEMU SKANOWANIA 3D DO OCENY STANU TECHNICZNEGO NAKŁADEK STYKOWYCH TRAKCYJNYCH ODBIERAKÓW PRĄDU

Sławomir JUDEK, **Leszek JARZĘBOWICZ**

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu
tel.: 58 347 11 68, e-mail: s.judek@ely.pg.gda.pl

Streszczenie: Nakładki stykowe, będące elementami kolejowego odbieraka prądu, bezpośrednio stykające się z przewodem jezdnym sieci trakcyjnej, są ważnym elementem układu zasilania pojazdu szynowego. Nakładki ulegają zużyciu oraz uszkodzeniom. Pogarsza to warunki odbioru prądu, a nawet może skutkować uszkodzeniem sieci i odbieraka. Istnieje więc potrzeba regularnej diagnostyki nakładek stykowych. Zaproponowano zastosowanie do tego celu systemu skanowania z kamerą 3D. Omówiono ideę trójwymiarowego skanowania powierzchni nakładek z wykorzystaniem kamery oraz oświetlacza laserowego. Opisano laboratoryjne stanowisko pomiarowe oraz stanowisko terenowe zamontowane na linii kolejowej. Przedstawiono wybrane wyniki skanowania oraz analizy stopnia zużycia nakładek stykowych. Oszacowano dokładność wyznaczania wymiarów nakładek za pomocą wykonanego stanowiska.

Słowa kluczowe: trakcja elektryczna, przemysłowe systemy wizyjne, skanowanie 3D, diagnostyka techniczna

1. WPROWADZENIE

Kolejowe pojazdy szynowe są szczególnym typem ruchomych odbiorników energii elektrycznej. Zasilane są one zazwyczaj z górnej sieci jezdnej za pośrednictwem odbieraka prądu, zainstalowanego na dachu pojazdu [1]. Istotnym elementem odbieraka jest ślizgacz, zawierający najczęściej dwie nakładki stykowe (rys. 1) [2]. Odbiór mocy zapewniony jest przez ruchomy zestyk pomiędzy przewodem jezdnym a nakładkami stykowymi. Poprawny odbiór prądu uwarunkowany jest odpowiednią konstrukcją tych elementów, ale także ich właściwym utrzymaniem [3].

a)

b)

c)

Rys. 1. Widok z boku nowej (a), znacznie zużytej (b) oraz uszkodzonej (c) nakładki stykowej

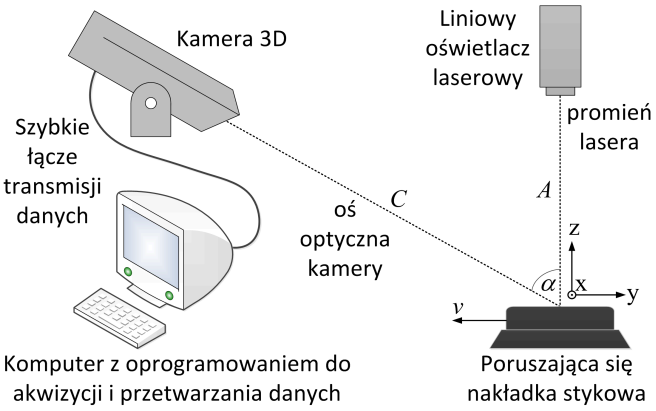
Współcześnie można zaobserwować dążenie do ujednolicenia warunków technicznych stawianych wobec infrastruktury kolejowej państw europejskich. Opracowano m.in. Techniczne Specyfikacje Interoperacyjności obowiązujące w całej UE. Dokumenty te określają wymagania dla współpracy odbieraków prądu z siecią trakcyjną górną. Zalecenia w nich zawarte mają swoje odzwierciedlenie m.in. w normach EN 50367 oraz EN 50119. W opracowaniach tych sprecyzowano, że kolejowe pojazdy trakcyjne powinny być wyposażone w węglowe nakładki stykowe. W związku z powyższym, w Polsce na początku 2011 r. przeprowadzono kompleksową wymianę ślizgaczy zastępując dotychczas stosowane nakładki miedziane, węglowymi.

Nakładki stykowe ulegają zużyciu ze względu na tarcie przewodu jezdnego [4]. Charakterystyczną cechą konstrukcyjną sieci trakcyjnej jest zmiana położenia przewodu jezdnego względem osi toru zwana odsuwem. Efektem tego jest przesuwanie zestyku w poprzek nakładki podczas ruchu pojazdu. Zapewnia to jej bardziej równomierne zużycie. Niemniej jednak największy ubytek materiału, osiągający kilkanaście milimetrów, obserwowany jest najczęściej w jej środkowej części (rys. 1b). Oprócz zużycia eksploatacyjnego, w nakładkach występują uszkodzenia takie jak: wykruszenia, oderwania segmentów (rys. 1c) czy pęknięcia węglowych listew stykowych. Kontrola stanu technicznego nakładek odbywa się podczas okresowych przeglądów lokomotyw i elektrycznych zespołów trakcyjnych. Uszkodzenia mogą jednak wystąpić pomiędzy przeglądami, więc wskazana jest ich częstsza – przynajmniej zgrubna – kontrola. Powyższe rozważania skłoniły do zaprojektowania stanowiska, przeznaczonego do montażu na linii kolejowej, które umożliwia oszacowanie zużycia i wykrycie uszkodzeń nakładek stykowych pojazdów przejeżdżających przez punkt kontrolny [5, 6].

2. STANOWISKO SKANOWANIA 3D

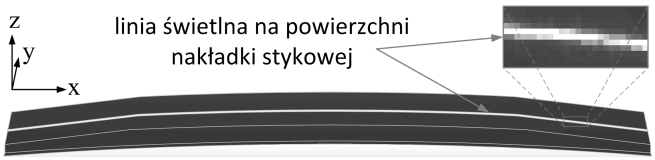
Skanowanie powierzchni nakładki stykowej metodą wizyjną wymaga zastosowania kamery oraz oświetlacza laserowego (rys. 2). Zadaniem oświetlacza jest projekcja linii świetlnej na skanowanej nakładce. Linia zorientowana jest prostopadle do kierunku ruchu skanowanego obiektu. Zastosowany oświetlacz generuje linię o długości L = 1100 mm i szerokości W = 0,6 mm z odległości A = 2538 mm. Kamera zamontowana jest w taki sposób, aby rejestrować linię świetlną usytuowaną na nakładce z perspektywy. Z reguły kąt α pomiędzy osią optyczną

kamery a kierunkiem padania strumienia światła laserowego zawiera się w granicach od 15° do 60°. Większy kąt odpowiada większej rozdzielczości pomiaru wysokości, lecz zwiększa ryzyko tzw. okluzji, czyli przesłonięcia linii świetlnej względem kamery poprzez nierównomierności na powierzchni skanowanego obiektu [4, 5].



Rys. 2. Koncepcja pomiaru kształtu i wymiarów powierzchni nakładki stykowej za pomocą systemu wizyjnego

Wykorzystano kamerę z matrycą o rozdzielczości 1536×512 pikseli [7]. Zarejestrowany obraz linii lasera na skanowanej nakładce (rys. 3) odwzorowuje kształt jej powierzchni (profil). Aby przeliczyć dyskretny przebieg zarejestrowanej przez kamerę linii świetlnej na rzeczywiste wartości wysokości, należy wziąć pod uwagę geometrię stanowiska oraz parametry obiektywu. Ruch obiektu względem układu kamera-oświetlacz oraz cykliczna rejestracja klatek obrazu, pozwalają na uzyskanie odwzorowania powierzchni skanowanej nakładki.



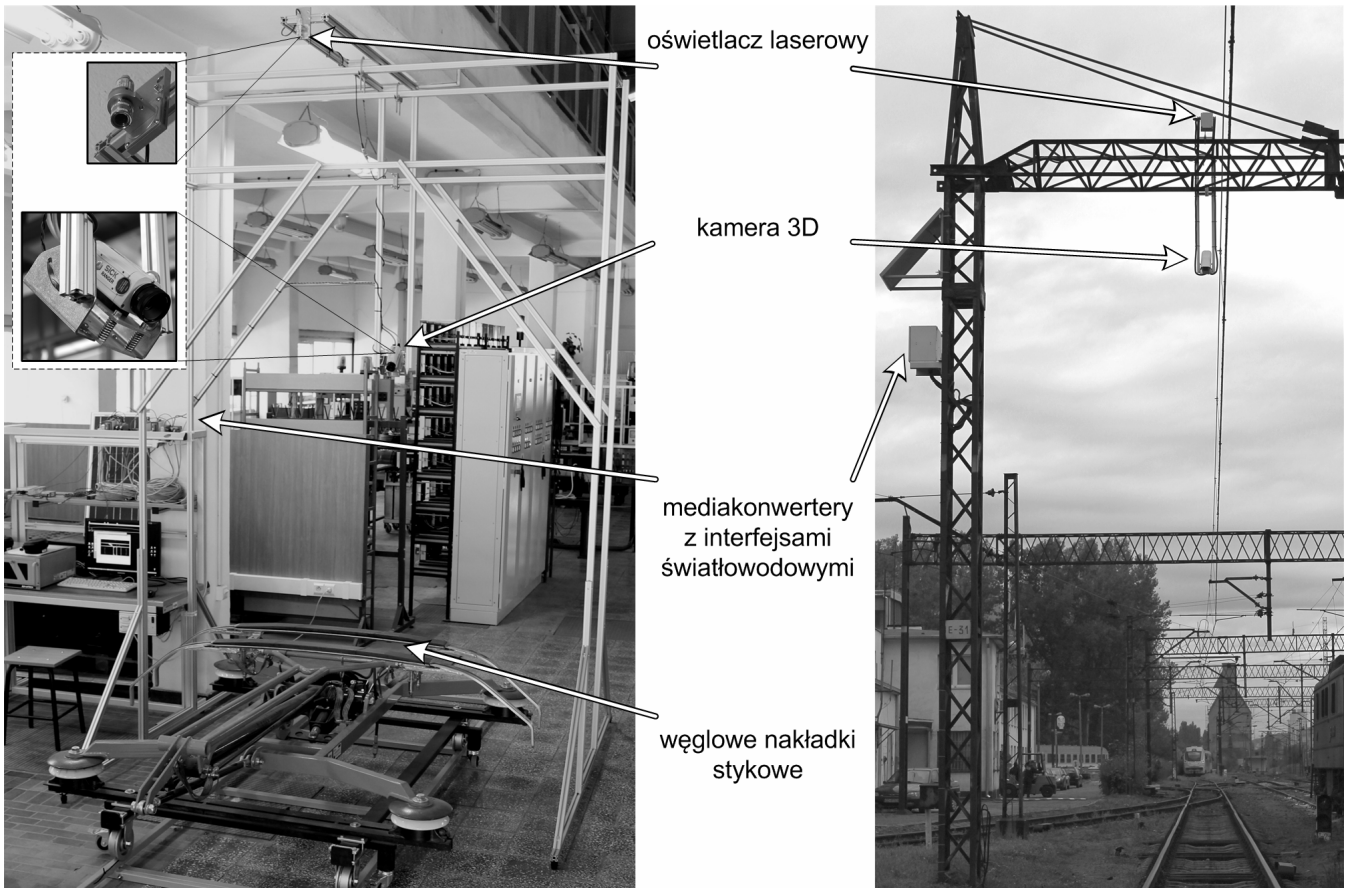
Rys. 3. Widok nakładki stykowej w kadrze kamery

Stanowisko do skanowania uruchomiono wstępnie w warunkach laboratoryjnych, z odwzorowaniem zależności geometrycznych docelowego punktu instalacji. Po wykonaniu wstępnych prób, układ zainstalowano na linii kolejowej. Widok stanowiska przedstawiono na rysunku 4.

Kamerę 3D oraz oświetlacz laserowy umieszczono na ramie wykonanej z profili aluminiowych umożliwiając szybki montaż na konstrukcji bramkowej sieci trakcyjnej. System jest zasilany z akumulatorów żelowych doładowywanych za pomocą ogniwa fotowoltaicznego. Układ doposażono w moduł GSM umożliwiający bezprzewodowe sterowanie i kontrolę układu zasilania.

Komunikację pomiędzy układem skanowania i komputerem centralnym, umieszczonym w pobliskim budynku, zrealizowano z wykorzystaniem światłowodów.

Dodatkowo wykonano pomocniczy podsystem wykrywania i identyfikacji lokomotywy, umieszczony na sąsiedniej, odległej o 30 m, konstrukcji wsporczej sieci trakcyjnej (niewidoczny na rysunku 4). Zastosowanie dalmierza laserowego pozwala na automatyczne wykrycie nadjeżdżającej lokomotywy i pomiar jej prędkości. Przemysłowa kamera wideo pozwala na odczytanie z czoła lokomotywy serii i numeru pojazdu oraz ustalenie, który z odbieraków jest uniesiony i współpracuje z siecią.

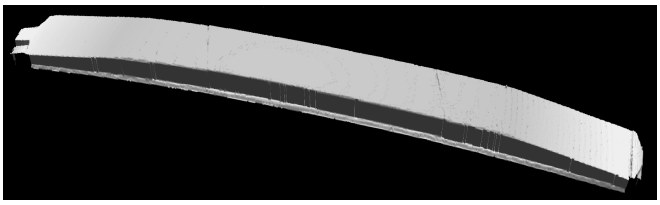


Rys. 4. Widok stanowiska do skanowania 3D uruchomionego w warunkach laboratoryjnych oraz zainstalowanego na linii kolejowej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

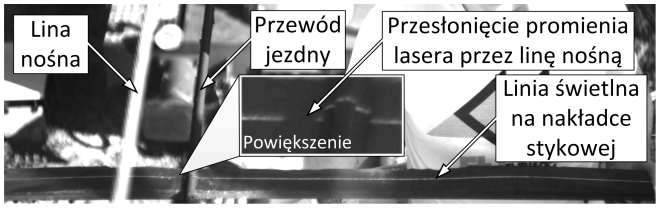
3. WYNIKI SKANOWANIA NAKŁADEK

Wyniki rejestracji wykonanej za pomocą kamery 3D mają postać macierzy **W**(x,y), której elementy $w_{xi,yi}$ są wartościami wysokości wyrażonej w milimetrach [6]. Liczba kolumn macierzy wynikowej, wynosząca 1536, jest równa liczbie kolumn matrycy światłoczułej kamery. Liczba wierszy dla macierzy **W** jest liczbą zarejestrowanych profili i zależy od czasu rejestracji. Okres pomiaru profili ustawiono na 4 ms. Wartość ta jest równa czasowi naświetlania matrycy kamery, pozwalającemu niezawodnie odtworzyć przebieg linii laserowej na skanowanym obiekcie. Graficzną wizualizację przykładowych wyników skanowania przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Trójwymiarowa wizualizacja wyników skanowania nowej nakładki stykowej

Na rysunku 6 przedstawiono obraz roboczy z kamery 3D zamontowanej nad torem kolejowym, zarejestrowany w trybie strojenia parametrów ekspozycji.

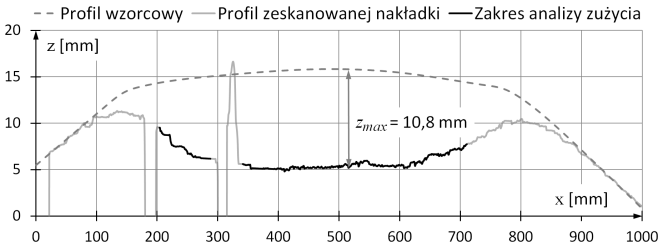


Rys. 6. Obraz roboczy z kamery 3D zarejestrowany podczas uruchamiania stanowiska terenowego

Widok skanowanej nakładki jest częściowo przesłonięty przez elementy sieci trakcyjnej – linę nośną oraz przewód jezdny. Dodatkowo, na nakładce brakuje fragmentu linii świetlnej w związku z przesłonięciem strumienia świetlnego przez linę nośną. Związane z tym ubytki w zarejestrowanych profilach nakładek ograniczają możliwości wykrycia uszkodzeń, które mogą wystąpić na całej jej szerokości. Z punktu widzenia analizy zużycia, przesłonięte fragmenty profilu nakładek nie wprowadzają jednak ograniczeń. Największe zużycie występuje zawsze w obszarze środkowym. Jest on w zarejestrowanych obrazach nieprzesłonięty, z uwagi na lokalny odsuw sieci trakcyjnej.

Podstawowa ocena wartości zużycia nakładek wykonywana jest poprzez opracowane algorytmy wyznaczające największą różnicę pomiędzy analizowanym profilem zeskanowanej nakładki a profilem wzorcowym. Wzorzec opracowano na podstawie wyników wielokrotnego skanowania nowych nakładek stykowych. Przykładowe wyniki porównania z profilem wzorcowym przedstawiono na rysunku 7.

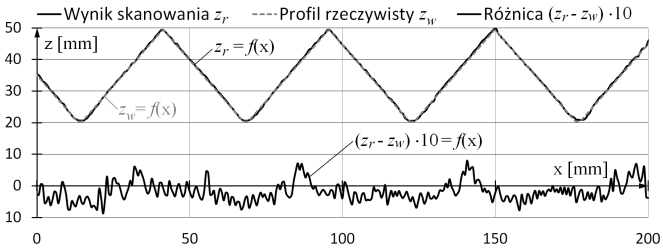
Ze względu na różnice montażowe i regulacyjne odbieraków wyniki rejestracji charakteryzują się dużą rozpiętością w zakresie położenia i pochylenia nakładek w przestrzeni. Porównanie wyników analizowanej nakładki z profilami wzorcowymi wymaga uprzedniej normalizacji wyników, polegającej na odpowiednim wypoziomowaniu i przesunięciu profili wynikowych. W tym celu konieczne jest wyznaczenie punktów szczególnych nakładki, które nie ulegają zużyciu. Proces ten jest realizowany przez opracowany algorytm automatycznie dla ślizgaczy o jednakowej konstrukcji.



Rys. 7. Przykład porównania zeskanowanego profilu nakładki stykowej z profilem wzorcowym odpowiadającym nakładce nowej

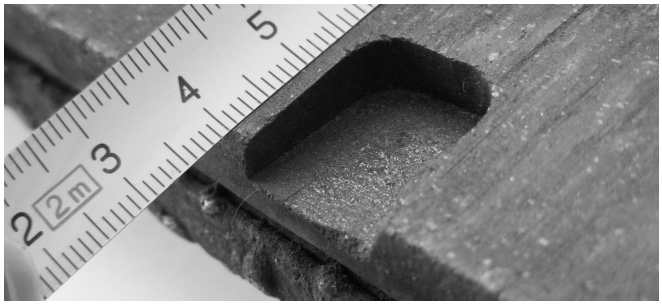
4. DOKŁADNOŚĆ POMIARU

Na dokładność pomiaru wysokości punktów profilu za pomocą systemu skanowania 3D wpływa duża liczba czynników. Wśród nich znajdują się m.in. dokładność ustawienia ostrości za pomocą obiektywu, równomierność projekcji linii laserowej na powierzchni nakładki czy uproszczenia modelu, na podstawie którego wykonywana jest transformacja wysokości z układu współrzędnych matrycy kamery do układu rzeczywistego. W celu oszacowania dokładności pomiaru wysokości w docelowej konfiguracji stanowiska, wykonano skanowanie obiektu o znanym kształcie i wymiarach. Tolerancja wykonania wykorzystanego obiektu wzorcowego wynosi 25 μm. Na rysunku 8 przedstawiono porównanie wyniku pomiaru obiektu wzorcowego z wymiarami rzeczywistymi. Błąd wyznaczenia wysokości jest nie większy niż 1 mm.



Rys. 8. Wynik skanowania obiektu o dokładnie znanym kształcie i wymiarach

Typowym uszkodzeniem nakładek stykowych jest wykruszenie na brzegu będące efektem zahaczenia nakładki o niepoprawnie wyregulowane elementy sieci jezdnej. W celu weryfikacji dokładności wyznaczania rozmiaru takich uszkodzeń, wyfrezowano w nakładce otwór o zbliżonym do typowego uszkodzenia kształcie i wymiarach (rys. 9).

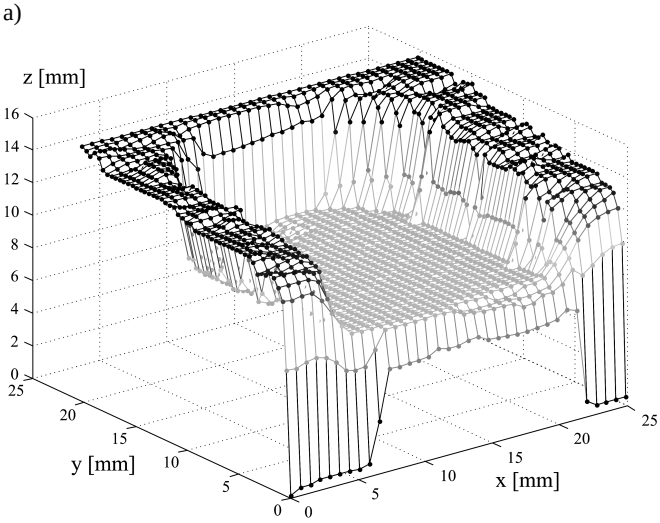


Rys. 9. Fotografia spreparowanego uszkodzenia nakładki stykowej

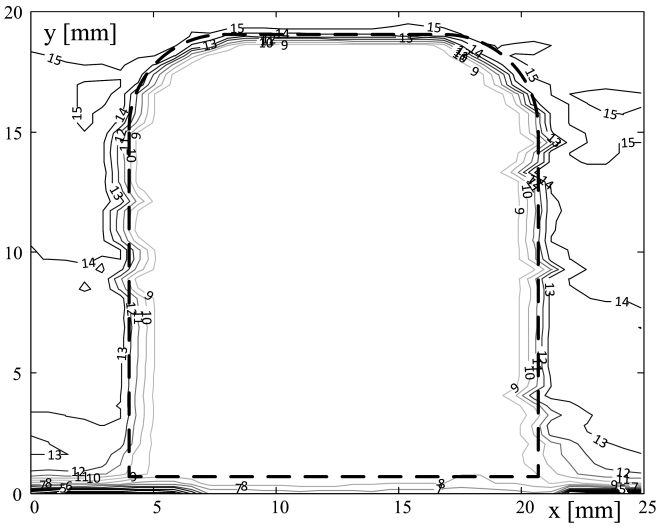
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Na rysunku 10 przedstawiono fragment wyników skanowania nakładki zawierający spreparowane uszkodzenie. Wymiary wykonanego otworu to: długość $x_o = 17{,}3$ mm, szerokość $y_o = 18{,}7$ mm, głębokość $y_o = 6$ mm, średnica frezu $\phi = 8$ mm.

a)



b)



Rys. 10. Wynik skanowania fragmentu nakładki stykowej zawierającego spreparowane uszkodzenie o znanych wymiarach: a) wizualizacja 3D; b) warstwice

Na rysunku 10b naniesiono kontur wykonanego otworu. Uzyskano zgodność wymiarów długości i szerokości na poziomie 0,5 mm, a wysokości w granicach 1 mm.

5. PODSUMOWANIE

Analiza wyników zebranych w laboratorium oraz na linii kolejowej potwierdziły możliwość wykorzystania systemu skanowania 3D do oceny zużycia oraz wykrywania uszkodzeń nakładek stykowych odbieraków prądu.

W analizowanych profilach występują zakresy x, dla których wysokość z jest zaburzona, W wyniku automatycznej analizy wyodrębniane są dwa podzakresy analizowanego profilu, obejmujące obszar nakładki podlegający największemu zużyciu, lecz nie zawierające miejsc, w których wartości wysokości są zafałszowane.

Błąd wyznaczenia wysokości za pomocą proponowanego systemu nie przekracza 1 mm. Dokładność jest wystarczająca do wykonania pomiarów technicznych mających na celu wykrycie istotnych uszkodzeń oraz ocenę zużycia eksploatacyjnego nakładki stykowej.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Skibicki J.: Pojazdy elektryczne cz. II, Wyd. PG, Gdańsk 2012, s. 155-200.
2. Maciołek T.: Elastyczna nakładka poprawiająca współpracę pantografu z siecią trakcyjną, Przegląd Elektrotechniczny 1a/2013, s. 12-16.
3. Giętkowski Z., Karwowski K., Mizan M.: Diagnostyka sieci trakcyjnej, Wyd. PG, Gdańsk 2009.
4. Jarzębowicz L., Judek S., Karwowski K.: Wizyjny system monitoringu stanu nakładek ślizgowych odbieraków prądu, XV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2012, PiT, Kraków 2012, s. 499-508.
5. Judek S., Jarzębowicz L.: Stanowisko do skanowania 3D nakładek odbieraków prądu lokomotyw, Poznan University of Technology Academic Journals – Electrical Engineering 75/2013, s. 141-148.
6. Jarzębowicz L., Judek S.: Analiza obrazu 3D do oceny stanu zużycia nakładek ślizgowych, Poznan University of Technology Academic Journals – Electrical Engineering 75/2013, s. 149-156.
7. Ranger E/D operating instructions. SICK AG 2010.

3D MACHINE VISION SYSTEM FOR EVALUATION OF CURRENT COLLECTORS CONTACT STRIPS CONDITION

Contact strips are one of the most important elements of a rail vehicle's current collector. They suffer from wear due to friction between the contact wire and their surface. Apart from exploitation wear, contact strips are subject to damage, such as chipping, detachment of segments, cracks in carbon strips, etc. Serious defects may contribute to damage of current collector and/or the break of overhead line. Therefore it is necessary to detect defects of contact strips as soon as possible.

An innovative stand has been proposed for diagnosing contact strips of current collectors when the vehicle passes the test point on the rail line. This stand makes it possible to establish the degree of wear in contact strips and detect possible defects. The condition of contact strips can be monitored much more frequently than the schedule of a vehicle periodic service prescribes. The elaborated stand was first tested in laboratory conditions and then installed on the rail line running out of engine house, where operation tests took place.

Principles of measurement with the use of 3D vision system have been described, and the structure of the elaborated stand, as well as selected scanning results have been presented. The issue of resolution and accuracy of measurements has also been addressed.

Keywords: electric traction, machine vision, 3-dimensional scanning, technical diagnostics.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl