

Marek Sitarz, Andrzej Adamiec, Adam Mańka

Uszkodzenia węglowych nakładek stykowych pantografów kolejowych stosowanych w Polsce

W artykule przedstawiono klasyfikację i przyczyny najczęściej występujących uszkodzeń węglowych nakładek stykowych pantografów eksploatowanych na polskich liniach kolejowych wraz z identyfikacją przyczyn ich występowania. W artykule wskazano na najbardziej istotne elementy utrzymania odbieraków prądu, które są najczęstszą przyczyną nie tylko usterek odbieraków prądu i sieci trakcyjnej, ale również przyspieszonego zużycia współpracujących elementów i wysokich kosztów eksploatacji pojazdów trakcyjnych.

Słowa kluczowe: sieć trakcyjna, odbieraki prądu, pantograf, ślizgacz, węglowe nakładki stykowe, system do diagnostyki sieci trakcyjnej.

Uszkodzenia w pantografach kolejowych [6] (odbierakach prądu trakcyjnego [7]) związane są głównie z uszkodzeniami węglowych nakładek stykowych (WNS) ślizgacza i występują w transporcie szynowym od samego początku ich eksploatacji. Możliwości ich wystąpienia mogą być związane z procesami:

1. Projektowania.
2. Wytwarzania.
3. Eksploatacji.

Szczególnie ważny jest etap projektowania pantografu, popełnione podczas niego błędy mogą mieć konsekwencje nie tylko eksploatacyjne i ekonomiczne, ale również mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo ludzi i towarów. Celem artykułu jest przedstawienie i sklasyfikowanie uszkodzeń WNS wraz z podaniem przyczyn ich wystąpienia, bazując na doświadczeniach eksploatacyjnych w przedsiębiorstwie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., wynikających z ich stosowania od 2011 r. Należy mieć na uwadze, że skutki uszkodzeń WNS podczas eksploatacji, a w konsekwencji również pantografów, odczuwają przewoźnicy kolejni, zarządcy infrastruktury kolejowej, jak również pasażerowie (np. opóźnienia oraz spóźnienia pociągów). Powyższe uszkodzenia

Tab. 1. Wykaz materiałów stosowanych na nakładki stykowe eksploatowane w Polsce [16]

Lp.	Symbol materiału	Ograniczenia
1.	MY7A2	Bez ograniczeń
2.	M131	Bez ograniczeń
3.	S4202	Typ materiału może być stosowany na sieci PLK z zastrzeżeniem, że podczas postoju pod siecią jedнопроводową muszą być podniesione i załączone dwa pantografy
4.	SK-162	Bez ograniczeń
5.	P8511	Bez ograniczeń
6.	P5696	Bez ograniczeń
7.	RH83 M6	Bez ograniczeń
8.	SK85ACu	Bez ograniczeń
9.	SK07Cu	Bez ograniczeń
10.	SK01Cu	Typ materiału może być stosowany na sieci PLK z zastrzeżeniem, że podczas postoju pod siecią jedнопроводową muszą być podniesione i załączone dwa pantografy
11.	SK85Cu	

powodują wzrost kosztów transportu, pogorszenie jakości usług oraz obniżenie poziomu bezpieczeństwa pasażerów i towarów.

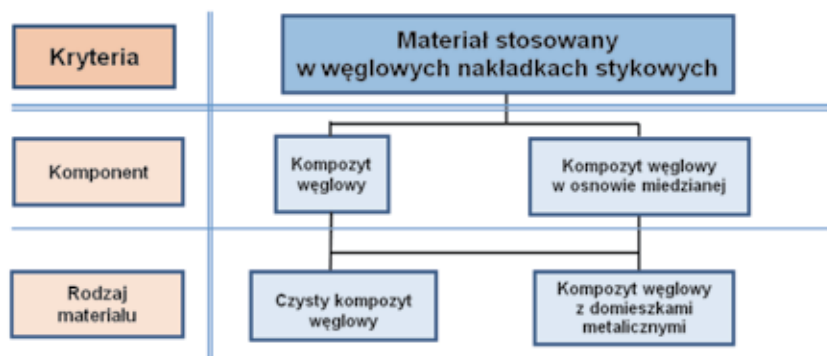
Materiały nakładek ślizgowych eksploatowanych w Polsce

Polska do stycznia 2011 r. była jedynym krajem w Unii Europejskiej, w którym elektryczne pojazdy trakcyjne mogły jeździć z pantografami wyposażonymi w miedziane nakładki stykowe. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. zgodnie z przepisami zawartymi w Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności (TSI) [8, 9], wprowadziła z dniem 01.02.2011 r. obowiązek używania przez pojazdy trakcyjne nakładek stykowych wykonanych z materiału węglowego. Według punktu 4.2.8.2.9.4 [2], składnikiem interoperacyjności jest nakładka węglowa. Ocenę zgodności składnika interoperacyjności przeprowadza się według wymagań określonych w pkt. 5.2.2 do 5.2.4, 5.2.6 i 5.2.7 normy [6]. Jednocześnie materiał, z którego wykonana jest nakładka stykowa, powinien być mechanicznie i elektrycznie dostosowany do właściwości fizykochemicznych materiału przewodu jezdnego (zgodnie z punktem 4.2.18 TSI [8, 9]), aby uniknąć między innymi nadmiernego ścierania powierzchni przewodów jezdnych i samych nakładek stykowych.

W przypadku nakładek stykowych stosowanych wyłącznie na liniach DC, zasilanie pojazdów trakcyjnych prądem przemienicznym, dozwolone są nakładki węglowe. Górna część WNS może być wykonana z następujących materiałów, które zostały przedstawione na rysunku 1.

Przepisy [2] w punkcie 4.2.8.2.9.4.2 jednoznacznie określają procentowy udział związków metalicznych w kompozycie węglowym. W Polsce można stosować kompozyt węglowy impregnowany domieszkami metalicznymi, których zawartość metalu w węglowych nakładkach stykowych nie może przekraczać 40% masy. Wykaz komponentów różnych firm, z których mogą być wykonywane nakładki stykowe pantografu w pojazdach trakcyjnych, służące do kontaktu z siecią trakcyjną w Polsce, przedstawia tabela 1 [16].

Ważnym aspektem zastosowania nowego materiału na nakładki stykowe do pantografów starego typu było dostosowanie



Rys. 1. Materiał stosowany w węglowych nakładkach stykowych



Fot. 1. Odbierak prądu wyposażony w nowe nakładki węglowe a) typu 5-ZL, b) typu AKP-4E



Fot. 2. Pantograf: a) typu EC-160 ze ślizgaczem pojedynczym i otwartym nabeżnikiem; b) typu WBL-85 DC ze ślizgaczem podwójnym (bliźniaczym) i otwartym nabeżnikiem

masy nowego ślizgacza w taki sposób, aby umożliwić uzyskanie siły nacisku statycznego wywieranego na przewód jezdny sieci trakcyjnej w zakresie od 90 do 120 N. Zmianie uległy przede wszystkim konstrukcje ślizgaczy (adaptory) pantografu starszego typu, tj. 5ZL oraz AKP-4E, (fot. 1), które były eksploatowane w zdecydowanej większości pojazdów kolejowych w Polsce.

W związku z decyzją PKP PLK S.A. [14, 15] odnośnie obowiązku używania węglowych nakładek stykowych w pantografach pojazdów trakcyjnych dla potrzeb przewoźników opracowano nowe konstrukcje ślizgaczy pantografów. Ślizgacze pantografów występują w wersji pojedynczej np. ślizgacze z nakładkami węglowymi, w której nakładki połączone są ze sobą w sposób sztywny na jednej ramie (fot. 2a) oraz w wersji podwójnej (fot. 2b). Ślizgacze podwójne, zwane również bliźniaczymi, nie są połączone ze sobą w sposób sztywny i mają możliwość niezależnej współpracy z przewodem jezdny.

Klasyfikacja uszkodzeń węglowych nakładek stykowych

Na podstawie wieloletniej obserwacji eksploatacyjnej, uczestnictwa w miejscowych oraz zakładowych komisjach związanych z uszkodzeniami pantografów i ich elementów takich jak: ślizgacze, węglowe nakładki stykowe oraz przeprowadzonych badań dopuszczeniowych [13, 12] zaproponowano klasyfikację występujących uszkodzeń, które przedstawiono na rysunku 2.

Z analizy tego schematu wynika, że uszkodzenia WNS są związane z etapami ich „życia”, tj:

4. Projektowaniem.
5. Wytwarzaniem.
6. Eksploatacją.

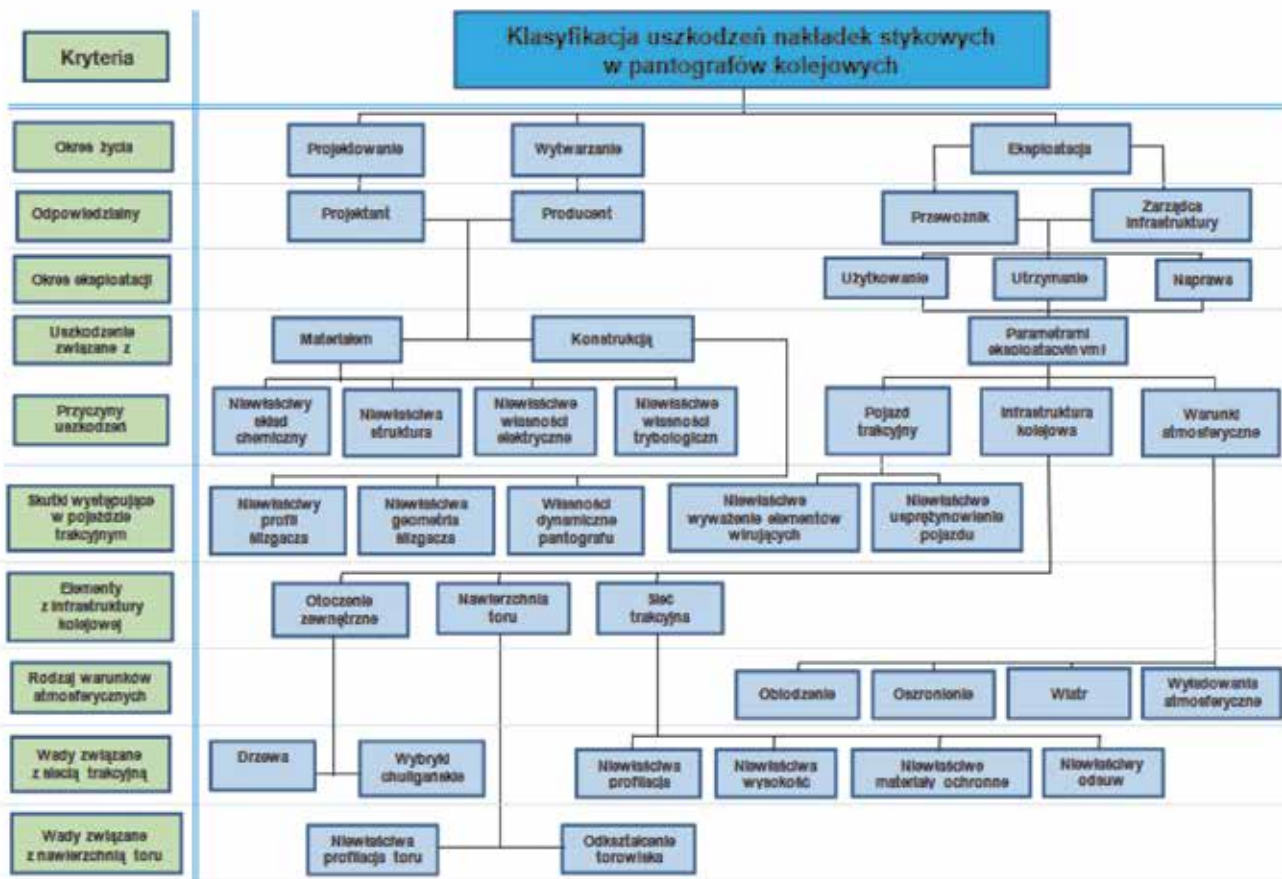
Uszkodzenia węglowych nakładek stykowych wynikające z defektów powstałych podczas projektowania

Jednym z najczęstszych uszkodzeń nakładek stykowych są odspojenia (rozwarstwienie) znacznej części materiału ślizgacza od listwy wsporczej – fot. 3.

Problem ten wynika z zastosowania niewłaściwie dobranej technologii materiału nakładek stykowych w formie oddzielnych bloków zespajanych do listwy wsporczej poprzez klejenie. W celu zapewnienia jak najmniejszego oporu elektrycznego w miejscu



Fot. 3. Odspojenie fragmentu nakładki stykowej wynikające z niewłaściwego procesu wytwarzania ślizgacza



Rys. 2. Klasyfikacja uszkodzeń nakładek stykowych w pantografach

połączenia materiału (kompozytu węglowego) z podstawą aluminiową nakładek stykowych umieszcza się miedzianą siatkę jako element pośredni. Zespolenie to musi jednocześnie zapewnić prawidłowy przepływ prądu od profilowanego przewodu jezdnej (djp) do nakładki stykowej ślizgacza pantografu.

Uszkodzenia węglowych nakładek stykowych wynikające z defektów powstałych podczas wytwarzania

Istnieje również potrzeba zachowania podstawowych wymogów technologicznych odnośnie wytwarzania materiału na węglowe nakładki stykowe. Z uwagi na stosowane w Polsce zasilanie prądem stałym o napięciu znamionowym 3 kV, wszelkie próby zastosowania materiału użytkowanego np. w Niemczech, Szwajcarii (~15 kV) lub Anglii (~25 kV), gdzie występuje zasilanie prądem przemiennym, skończyły się niepowodzeniem. Wynika to z faktu, że przy tak wysokich napięciach nie jest możliwe stosowanie

wanie nakładek węglowych ze znacznie mniejszą ilością miedzi (a zarazem tańszych) bez obawy o przekroczenie dopuszczalnej normy [14, 5] dotyczącej maksymalnego przyrostu temperatury o 80°C dla prądu 1200 A podczas trzyminutowej próby termicznej. Niezbędne jest jednak równomierne rozmieszczenie miedzi w objętości nakładki węglowej oraz trwałe jej zespolenie z kompozytem węglowym. Niedotrzymanie tego rygoru technologicznego skutkuje, oprócz przegrzania, wyluszczeniami przedstawionymi na fot. 4.

Wyluszczenie związane jest z nieciągłością materiału (pęcherz powietrza), która powstała podczas procesu technologicznego znacznie wcześniej niż samo wyluszczenie materiału (kolor żółty). Odsłojenie materiału, w tym wypadku miedzi, widoczne jest w dolnej części zagłębienia przedstawionej wady. W tym przypadku można jednoznacznie wykluczyć przyczynę związaną z siecią jezdnią z uwagi na znikome obciążenia mechaniczne tej części nakładki stykowej.



Fot. 4. Wyluszczenie materiału nakładki stykowej wynikające z wewnętrznej wady materiałowej

Uszkodzenia węglowych nakładek stykowych powstałe podczas eksploatacji

Sam montaż nakładek stykowych ma istotne znaczenie dla ich prawidłowej eksploatacji oraz kosztów ich użytkowania. Oprócz przedstawionego na fot. 5 przykładu niewłaściwie zamocowanego elastycznego łącznika bocznikującego, należy zwrócić szczególną uwagę na prawidłowe doleganie nakładek stykowych do podstawy ślizgacza w pantografie. Taki, nieprawidłowy montaż spowoduje brak współosiowości górnych powierzchni obu nakładek – fot. 6. Błąd ten powoduje punktowy styk nakładek z przewodem jezdnią i przyspieszone zużycie nie tylko nakładki



Fot. 5. Niewłaściwie zabudowany, elastyczny łącznik bocznikujący

dek stykowych, ale również przewodu jezdnego, co może doprowadzić do jego przepalenia podczas ruszania ciężkim składem.

Na podstawie doświadczeń autorów można stwierdzić, że efekty nie zachowania równoległości powierzchni styku obu nakładek, a następnie ich liniowego styku z przewodem jezdnym wykluczają możliwość spełnienia wymagań normatywnych w zakresie nagrzewania się nakładek i przewodu jezdnego [7, 5] podczas prób stanowiskowych oraz eksploatacyjnych. Dlatego też, przed próbami prądowymi luzuje się ślizgacze, umieszcza na obu liniach lub poziomice i dopiero wtedy skręca, zapewniając przyleganie obu nakładek.

Nierównomierne zużycie nakładek stykowych przedstawione na fot. 6 wynika często również z samej konstrukcji, utrzymania stanu technicznego mechanizmu docisku ślizgaczy bliźniaczych oraz tzw. małego pantografu przy pantografach wyposażonych w ślizgacz pojedynczy. Widać zatem, że właściwe utrzymanie pantografu, a w szczególności elementów ślizgacza ma znaczący wpływ na trwałość i koszty eksploatacji węglowych nakładek stykowych, a tym samym sieci trakcyjnej.

Przyczynami uszkodzeń nakładek stykowych, a w następstwie również całych odbieraków prądu trakcyjnego, mogą być nie tylko nieprawidłowości w sieci jezdnej, ale również w samych pantografach. Podczas eksploatacji ujawniają się wady powstałe na etapie projektowania, wytwarzania oraz związane z eksploatacją (dotyczy przewoźnika oraz zarządcy infrastruktury), które zostały przedstawione na rysunku 2. Jedną z częstych przyczyn uszkodzeń węglowych nakładek stykowych, w trakcie eksploatacji są nadpalenia materiału (kompozytu węglowego). Jest to bezpośredni efekt powstawania bardzo wysokich temperatur po utworzeniu się łuku elektrycznego (fot. 7).

Powstawanie lub „ciągnięcie” łuku elektrycznego powstaje w złych warunkach pogodowych tj. podczas oblodzenia, opadów deszczu, śniegu, ale również przy zbyt małym nacisku pantografu na przewód jezdny sieci trakcyjnej [4]. Powyższe uszkodzenia powstają również w wyniku oderwania się ślizgacza od drutu jezdnego (szczególnie w kolejach szybkich), jak i podnoszenia i opuszczania pantografu przy zadanym zbyt dużym obciążeniu na nastawniku jazdy przez maszynistę. Należy zaznaczyć, że materiały, których przewodność elektryczna jest niska będą sprzyjały powstawaniu łuku elektrycznego, a w następstwie przepaleniu przewodu jezdnego sieci trakcyjnej.

Uszkodzenia przedstawione na fot. 8 przedstawiają efekt długotrwałego użytkowania odbieraka prądu po odsplenieniu się fragmentu nakładki węglowej. Przyczyną pierwotną tego stanu



Fot. 6. Niewłaściwie zamontowane nakładki stykowe w ślizgaczu bliźniaczym

rzeczy może być niewłaściwe zespolenie nakładki węglowej z listwą, uszkodzenie powstałe podczas transportu lub montażu, nadmierne lub przyspieszone zużycie eksploatacyjne lub uderzenie w przeszkodę usytuowaną na sieci trakcyjnej, w tym np. uderzenie w niewłaściwie zamontowany izolator sekcyjny, elementy wieszaka, elementy uszkodzonego odbieraka prądu, lód lub elementy otoczenia zewnętrznego infrastruktury, które nie należą do systemu kolejowego. Najbardziej dotkliwe skutki takich nieprawidłowości powodują uszkodzenie odbieraka prądu, którego poszczególne elementy konstrukcji powinny działać jako bezpiecznik i nie powodować dalszej degradacji pantografu lub sieci trakcyjnej. W dalszym ciągu występują jednak zdarzenia powodujące nie tylko uszkodzenie pojedynczego odbieraka prądu, ale również uszkodzenie sieci trakcyjnej, słupów i kolejnych odbieraków prądu nadjeżdżających pojazdów trakcyjnych.

Wnioski i kierunki dalszych prac

Przedstawione i sklasyfikowane w artykule najczęstsze uszkodzenia węglowych nakładek stykowych oraz zidentyfikowane przyczyny ich wystąpienia wskazują na potrzebę dalszych prac nad zachowaniem odpowiednich parametrów materiału i konstrukcji na etapie projektowania, produkcji oraz wysokiej kultury technicznej związanej z eksploatacją odbieraków prądu. Przyczyny uszkodzeń wskazują również na konieczność ciągłej diagnostyki stanu sieci trakcyjnej urządzeniami do pomiaru sił i umiejscowienia djp względem pojazdu np. system *PanDiag* [3, 11].



Fot. 7. Uszkodzenia węglowych nakładek stykowych spowodowane wydzielaniem się ciepła w czasie powstania łuku elektrycznego



Fot. 8. Uszkodzenia węglowych nakładek stykowych spowodowane odspojeniem się nakładek stykowych

Nadrzędnym celem artykułu było usystematyzowanie aktualnej wiedzy i doświadczeń wynikających ze stosowania nakładek węglowych w Polsce. Właściwa wiedza, znajomość tematu, tzw. „Kultura bezpieczeństwa” może przyczynić się do stopniowej redukcji przyczyn awarii, których na sieci PKP zarządzanej przez Polskie Linie Kolejowe S.A. jest ok. 800 rocznie, a których skutki odczuwają nie tylko przewoźnicy kolejowi i podmioty odpowiedzialne za utrzymanie sieci kolejowej, ale również pasażerowie transportu kolejowego.

Bibliografia

- Borsiak J., *Stanowisko do badań pantografów przeznaczone do eksploatacji w procesie produkcji oraz utrzymania taboru kolejowego i tramwajowego*, „Technika Transportu Szynowego” 2011, nr 1-2.
- Decyzja Komisji 2008/232/WE z dnia 26 kwietnia 2011 r. dotycząca Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności (TSI) podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości: Dz. Urz. L 84 z 26.03.2008 r., s. 132-392.
- Hełka A., Mańka A., *Pomiary i analiza współpracy pantografu z siecią jezdnią w trakcie eksploatacji*, „Logistyka” 2015, nr 3.
- Majewski W., *Zastosowanie nakładek węglowych w odbierakach prądu*, Prezentacja Instytutu Kolejnictwa, 5 marca 2013 r.
- PN-EN 50206-1:2009 *Zastosowania kolejowe – Tabor – Pantografy: Charakterystyki i badania – Część 1: Pantografy pojazdów linii głównych*.
- PN-EN 50405:2006 *Systemy odbioru prądu – Pantografy, metody badań węglowych nakładek stykowych*.
- PN-K 91001:1997 *Elektryczne pojazdy trakcyjne – Odbieraki prądu – Wymagania i metody badań*.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 7 stycznia 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności kolei oraz procedur oceny zgodności dla transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnej: Dz. U. Nr. 11 z 2008 r., poz. 65.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 2 maja 2012 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei: Dz. U. z 2012 r., poz. 492.
- Sitarz M., Chruzik K., Wachnik R., Graboń M., *Ocena ryzyka operacyjnego oraz monitorowanie pojazdów kolejowych*, „Technika Transportu Szynowego” 2014, nr 3.
- Sitarz M., Hełka A., Mańka A., Adamiec A., *Testing of Railway Pantograph*, „Archives of Transport” 2013, No 1–2.
- U641RT4/2011 *Badania materiałowe węglowych nakładek ślizgowych wg wymogów PKP PLK S.A. Let-4*, Katedra Transportu Szynowego Politechniki Śląskiej, Katowice, 2010 r.
- U694RT4/2010 *Badania nakładek węglowych MY131 S4202 Morgan Carbon*, Katedra Transportu Szynowego Politechniki Śląskiej, Katowice, 2011 r.
- Uchwała nr 20/2010 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 8 stycznia 2010 r. w sprawie stosowania w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. „Wymagania dla materiałów węglowych nakładek ślizgowych pantografów dopuszczonych do współpracy z siecią trakcyjną zarządzaną przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. - let-4”.
- Woźniak K., *Wprowadzenie obowiązku stosowania węglowych nakładek ślizgowych na pantografach pojazdów trakcyjnych przewoźników korzystających z sieci trakcyjnej zarządzanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.*, www.sirts.pl (dostęp 18.01.2016).
- Wykaz materiałów, z których mogą być wykonane nakładki stykowe odbieraka prądu (pantografu) pojazdu trakcyjnego do kontaktu z siecią trakcyjną PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., wyciąg z PKP PLK z dnia 11.12.2015 roku.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Marek Sitarz** – Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej, Katedra Transportu Szynowego
mgr inż. **Andrzej Adamiec** – PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Centrala, Biuro Energetyki
dr inż. **Adam Mańka** – Politechnika Śląska, Wydział Transportu, Katedra Technologii Lotniczych

Classification of damages of plain carbon caps and pantographheads

The article presents the classification and the most common causes of pantographs carbon plates damage operated on Polish railways with identification of the causes of their occurrence. The article pointed out the most important elements of the maintenance of current collectors, which are the most common cause of not only the fault current collector and catenary, but they also cause accelerated wear of components and generate high operating costs of railway transport.

Keywords: overhead contact line, current collectors, pantograph, slider, carbon plates, the overhead contact line diagnostics system.