

Badania własności eksploatacyjnych nowej generacji kolejowych nakładek stykowych do pantografów. Część II

Paweł KWAŚNIEWSKI¹, Krystian FRANCAK¹, Grzegorz KIESIEWICZ¹, Tadeusz KNYCH¹,
Andrzej MAMALA¹, Artur KAWECKI¹, Szymon KORDASZEWSKI¹, Wojciech ŚCIEŻOR¹,
Radosław KOWAL¹, Artur ROJEK², Wiesław MAJEWSKI², Marek KANIEWSKI², Roman MAJNUSZ³,
Romuald WYCISK³, Michał ŚLIWKA³

Streszczenie

Rozbudowa oraz modernizacja linii kolejowych w Polsce zwiększa zapotrzebowanie na nowe rozwiązania przeznaczone do przesyłu energii elektrycznej w sieci trakcyjnej. Jednym z kluczowych elementów na drodze przesyłu energii elektrycznej z sieci trakcyjnej do lokomotyw jest nakładka stykowa. W Polsce do 2011 roku eksploatowano nakładki stykowe wykonane z miedzi, co powodowało szybsze zużycie przewodów jezdnych. Wprowadzenie nakazu stosowania węglowych nakładek stykowych i brak krajowych rozwiązań w tym zakresie spowodowały, iż zaadaptowano zagraniczne rozwiązania, które dostosowano do sieci trakcyjnych zasilanych prądem zmiennym 25/15 kV. Odmienne systemy zasilania polskich linii kolejowych prądem stałym o napięciu 3 kV spowodowały, że zaadaptowane nakładki stykowe stwarzają wiele problemów podczas eksploatacji w sieciach trakcyjnych. Artykuł opisuje drugą część badań nowej generacji nakładek stykowych i jest skoncentrowany na badaniach właściwości eksploatacyjnych, które umożliwiają ich zastosowanie w liniach kolejowych zarządzanych przez PKP PLK S.A., zgodnie z wymaganiami Listy Prezesa Urzędu transportu Kolejowego.

Słowa kluczowe: węglowe nakładki stykowe, kompozyty węglowe, pantograf, kolej, sieć trakcyjna

1. Wstęp

Kolejowa sieć trakcyjna składa się z dwóch głównych elementów: sieci jezdnej oraz powrotnej. Sieć jezdna jest to zespół przewodów i lin, zawieszonych na konstrukcjach wsporczych wraz z różnego rodzaju osprzętem trakcyjnym. Energia elektryczna jest dostarczana do pojazdów trakcyjnych przez bezpośredni kontakt nakładek stykowych umieszczonych na pantografach z przewodami jezdnyymi sieci trakcyjnej [7, 8]. W Polsce, do 2011 roku wykorzystywano nakładki stykowe wykonane wyłącznie z miedzi. Eksploatowanie listew miedzianych bezpośrednio wpływało na szybkie ścieranie przewodów jezdnych, jak i samych nakładek stykowych. Dodatkowo, pojazdy wyposażone w listwy miedziane nie mogły poruszać się po sieciach trakcyjnych innych państw Unii Europejskiej. W związku z koniecznością zmiany listew miedzianych na węglowe nakładki stykowe, zaadaptowano oraz dostosowano do krajowych wymagań nakładki stykowe producentów zagranicznych.

W Polsce, sieć trakcyjna jest zasilana w systemie prądu stałego o napięciu 3 kV, w którym pobór prądu może sięgać nawet 2,5 kA. System ten, przy dużych mocach pojazdów oraz dużej gęstości ruchu, charakteryzuje się spadkami napięcia oraz dużymi obciążeniami prądowymi [2, 3, 4, 5, 6]. Taki charakter pracy sieci wymusza zastosowanie dużych przekrojów czynnych sieci trakcyjnej oraz zmniejszenie odległości pomiędzy poszczególnymi podstacjami. W związku z tym, nakładki stykowe powinny wykazywać odpowiednie właściwości mechaniczne i elektryczne, umożliwiające ciągłą i bezawaryjną eksploatację wszystkich rodzajów sieci, w każdych warunkach atmosferycznych. Wykorzystywane w pojazdach trakcyjnych nakładki stykowe stwarzają różne problemy eksploatacyjne, które wpływają na awarie, co bezpośrednio wpływa na sprawność sieci trakcyjnej, jak również na komfort podróżowania pasażerów [11].

Nakładki stykowe mogą być eksploatowane w sieciach trakcyjnych, których zarządcą jest PKP PLK S.A. jeśli spełniają, wymagania zapisane w dokumencie TSI Loc&Pas (Rozporządzenie Komisji UE nr 1302/2014) [10] oraz

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Metali Nieżelaznych, Kraków; e-mail: kwas@agh.edu.pl.

² Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki, Warszawa.

³ Carbo-Graf, Sp. z o.o., Racibórz.

w „Liście Prezesa UTK w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwi spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności” z dnia 19.01.2017 roku (dokument dotyczący nakładek stykowych – załącznik TE-1) [9, 12]. W załączniku TE-1, dotyczącym wymagań dla nakładek ślizgowych eksploatowanych w Polsce, zawarto takie wymagania, jak:

- przyrost temperatury przewodów jezdnych w miejscu styku podczas postoju przez minimum 30 minut: $\leq 80^{\circ}\text{C}$ przy przepływie prądu 200 A DC,
- zawartość wagowa metalu w materiale węglowym: $< 40\%$,
- twardość materiału węglowego: ≤ 120 HRB,
- szerokość nakładek węglowych: ≥ 60 mm.

W artykule przedstawiono badania nakładek stykowych firmy Carbo-Graf, które wykonano zgodnie z wymienionym dokumentem normatywnym.

2. Metodyka badań

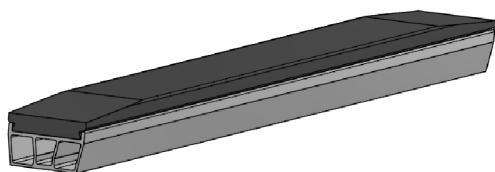
Przedmiotem badań były trzy typy węglowych nakładek stykowych produkcji firmy Carbo-Graf Sp. z o.o. z Raciborza, wytwarzanych w różnych technologiach impregnowania metalem kompozytu węglowego, których cechy przedstawiono w tablicy 1, natomiast model nakładki stykowej pokazano na rysunku 1. Badania nakładek stykowych przeprowadzono w laboratorium Wydziału Metali Nieżelaznych w Katedrze Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Tablica 1

Charakterystyki badanych nakładek stykowych

Typ nakładki stykowej	Typ kompozytu węglowo-metalicznego	Szacowana zawartość metalu w kompozycie węglowo-metalicznym
F20E10 SCu	Nasycany ciekłą miedzią	35–39% wt.
F20E10 20SCu	Nasycany ciekłą miedzią z dodatkiem proszku miedzi	35–39% wt. (w równych częściach)
F20E10 Cu40	Z dodatkiem proszku miedzi	39% wt.

[Opracowanie własne]



Rys. 1. Model 3D nakładki stykowej firmy Carbo-Graf [opracowanie własne K. Franczak]

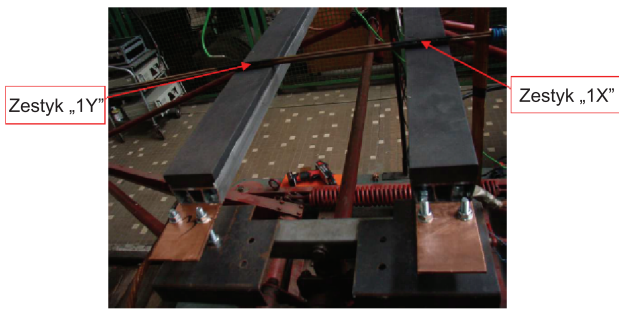
Badania zawartości metalu w materiale węglowym nakładek stykowych przeprowadzono zgodnie z załącznikiem TE-1 Listy Prezesa UTK. Pomiar zawartości metalu w materiale węglowym wykonano metodą absorpcji atomowej w pięciu wybranych punktach kompozytu węglowego oddalonych od siebie o 5 cm. Próbki do badań stanowiły sześciany o wymiarach $10 \times 10 \times 10$ mm. Zgodnie z dokumentem normatywnym, w żadnym z badanych miejsc, nakładka stykowa nie powinna zawierać zawartości wagowej metalu powyżej 40%. Do badań wykorzystano mikroskop skaningowy typu HITACHI SU-70 (rys. 2). Pomiar twardości materiału węglowego nakładek stykowych przeprowadzono metodą Rockwell'a w skali HRB, zgodnie z załącznikiem TE-1 Listy Prezesa UTK. Badanie twardości wykonano za pomocą twardościomierza typu KP15002 P w pięciu punktach materiału węglowego nakładek stykowych (rys. 3). Badania przyrostu temperatury przewodów jezdnych, w miejscu styku podczas postoju, wykonano na specjalistycznym stanowisku, które znajduje się w laboratorium Instytutu Kolejnictwa (rys. 4). Pomiar szerokości nakładek stykowych wykonano cyfrową suwmiarką MITUTOYO CD-15APX.



Rys. 2. Widok mikroskopu skaningowego typu HITACHI SU-70 [fot. K. Franczak]



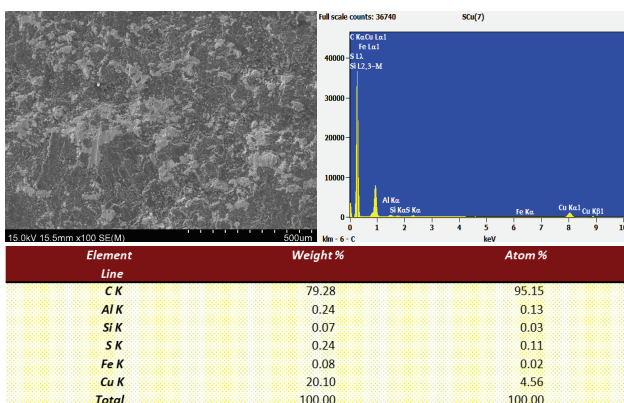
Rys. 3. Widok twardościomierza typu KP15002 P [fot. K. Franczak]



Rys. 4. Stanowisko do badań przyrostu temperatury w miejscu styku nakładki z przewodem jezdny [fot. K. Franczak]

3. Wyniki i analiza badań

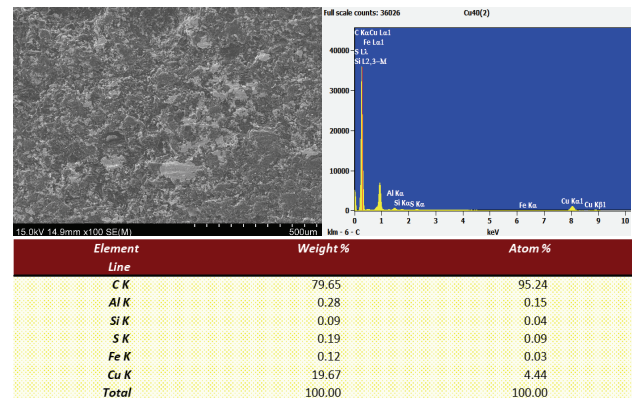
Badania zawartości metalu w materiale węglowym przeprowadzono zgodnie z załącznikiem TE-1 do Listy Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego. Z przeprowadzonych badań zawartości metalu w materiale węglowym testowanych nakładek stykowych wynika, iż wszystkie nakładki stykowe firmy Carbo-Graf typu: F20E10 SCu, F20E10 20SCu i F20E10 Cu40 nie zawierają więcej metalu w materiale węglowym niż 40%. W zależności od danego typu, kompozyty węglowe wykazują zawartość miedzi na poziomie 18–20% wt. oraz śladowe ilości zanieczyszczeń pochodzących z procesu wytwarzania materiału węglowego, tj.: Al, Si, S, Fe, które sumarycznie nie przekraczają 0,5% wt. Zatem wszystkie typy nakładek stykowych spełniają wymagania zapisane w załączniku TE-1 Listy Prezesa UTK dotyczące zawartości metalu w materiale węglowym. Na rysunkach 5–7 przedstawiono przykładowe analizy EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) materiałów węglowych nakładek stykowych.



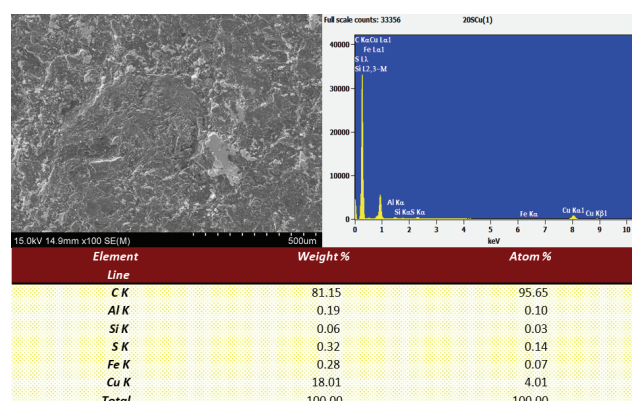
Rys. 5. Wynik badania zawartości metalu w nakładce stykowej – F20E10 SCu „Próbka 1” [opracowanie własne]

Z przeprowadzonych badań twardości, które przedstawiono w tabelicy 2 wynika, że twardość materiału węglowego w badanych punktach we wszystkich trzech typach nakładek stykowych, tj.: F20E10 SCu, F20E10

20SCu i F20E10 Cu40 jest mniejsza niż kryterium zawarte w załączniku TE-1 Listy Prezesa UTK, wynoszące 120 HRB. Zatem wszystkie typy nakładek stykowych spełniają wymagania zapisane w załączniku TE-1 Listy Prezesa UTK, dotyczące twardości materiału węglowego.



Rys. 6. Wynik badania zawartości metalu w nakładce stykowej – F20E10 Cu40 „Próbka 1” [opracowanie własne]



Rys. 7. Wynik badania zawartości metalu w nakładce stykowej – F20E10 20SCu „Próbka 1” [opracowanie własne]

Tabela 2

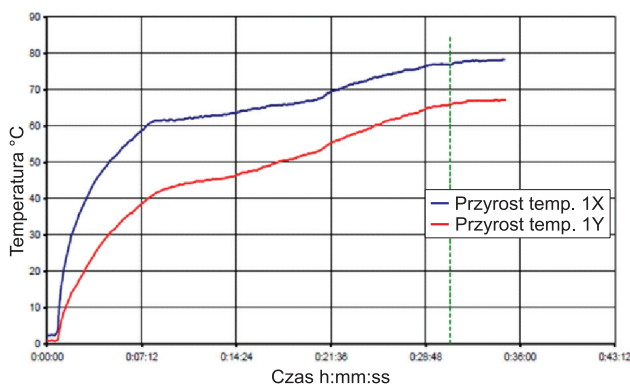
Zestawienie wyników badań twardości nakładek stykowych

Typ nakładki	Numer pomiaru twardości [HRB]				
	1	2	3	4	5
F20E10 SCu	83	70	87	85	82
F20E10 20SCu	87	85	88	86	83
F20E10 Cu40	72	80	76	75	79

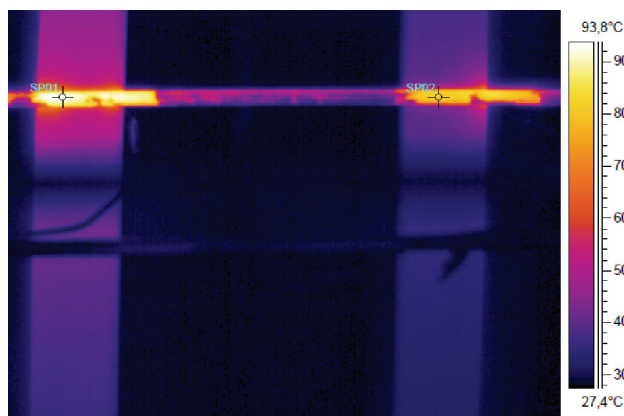
[Opracowanie własne].

W dalszym etapie, nakładki stykowe poddano badaniom przyrostu temperatury w miejscu styku nakładki stykowa – przewód jezdny pod przepływem prądu o natężeniu 200 A. Według kryterium, przyrost temperatury nie powinien wynosić więcej niż 80°C. Wszystkie trzy typy nakładek stykowych przeszły pozytywnie próbę nagrzewania. Przyrost temperatury dla nakładek stykowych F20E10 SCu wyniósł

$\Delta T_{1X} = 76,9^{\circ}\text{C}$ i $\Delta T_{1Y} = 66^{\circ}\text{C}$, dla nakładek stykowych F20E10 20SCu $\Delta T_{1X} = 73,1^{\circ}\text{C}$ i $\Delta T_{1Y} = 72,2^{\circ}\text{C}$ oraz dla nakładek stykowych F20E10 Cu40 $\Delta T_{1X} = 74^{\circ}\text{C}$ i $\Delta T_{1Y} = 75,9^{\circ}\text{C}$ (rys. 8–9).



Rys. 8. Charakterystyka przyrostu temperatury dla nakładek stykowych F20E10 SCu [opracowanie własne]



Rys. 9. Widok z kamery termowizyjnej podczas badań [opracowanie własne]

Z przeprowadzonych badań szerokości nakładek stykowych firmy Carbo-Graf typu F20E10 SCu, F20E10 20SCu i F20E10 Cu40 wynika, że wszystkie badane nakładki spełniają kryterium szerokości powyżej 60 mm. Szerokość nowej generacji nakładek stykowych wynosi $67,3 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono badania właściwości eksploatacyjnych nowej generacji nakładek stykowych firmy Carbo-Graf, wykonane zgodnie z dokumentem „Lista Prezesa UTK w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia

spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności” załącznik TE-1 z dnia 19 stycznia 2017 r.. Z przeprowadzonych badań wynika, że trzy typy nakładek stykowych, tj.: F20E10 SCu, F20E10 20SCu i F20E10 Cu40 firmy Carbo-Graf spełniają kryteria dotyczące ich właściwości, które zawarto w załączniku TE-1 „Listy Prezesa UTK”.

Literatura

1. EN 50405:2006: Railway applications – Current collection systems – Pantographs, testing methods for carbon contact strips.
2. Jarzębowicz L., Judek S.: *Monitoring i diagnostyka nakładek stykowych kolejowych odbieraków prądu z wykorzystaniem systemu wizyjnego 3D*, Przegląd Elektrotechniczny, 2013, z. 8.
3. Judek S., Jarzębowicz L.L.: *Analysis of Measurement Errors in Rail Vehicles' Pantograph Inspection System*, // Elektronika Ir Elektrotechnika – Vol. 22, iss. 3 (2016), s. 20–23.
4. Judek S., Skibicki J., *Visual method for detecting critical damage in railway contact strips*, Measurement Science & Technology. – Vol. 29, iss. 5 (2018), s. 1–8.
5. Kaniewski M.: *Nakładki węglowe – budowa, badania oraz wdrożenie w sieci Polskich Kolei Państwowych*, Elektrotechnika w zastosowaniach trakcyjnych, Wydawnictwo PK, Kraków, 2014.
6. Kiesiewicz G.: *Nowoczesny system podwieszenia kolejowej górnej sieci trakcyjnej*, Wydawnictwo Impuls, Kraków, 2018.
7. Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A.: *Contact Lines for Electric Railways*, Publicis Corporate Publishing, Third edition, Monachium, 2018.
8. Kwaśniewski P.: *Nośno-przewodzący osprzęt górnej sieci trakcyjnej*, Kraków, Wydawnictwo Wzorek, 2016.
9. Lista Prezesa UTK w sprawie właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności z dnia 19.01.2017 r.
10. Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
11. Sitarz M., Adamiec A., Mańka A.: *Uszkodzenia węglowych nakładek stykowych pantografów kolejowych stosowanych w Polsce*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2016, z. 1–2.
12. Załącznik TE-1 do Listy Prezesa UTK „Wymagania dla nakładek ślizgowych pantografów”.

Opisane badania wykonano w ramach realizacji projektu dofinansowanego przez NCBiR z programu PBS3/B5/49/2015. Wkład poszczególnych autorów:

*dr hab. inż. Paweł Kwaśniewski, prof. AGH – metodologia badawcza, analiza wyników badań,
mgr inż. Krystian Franczak – wykonanie badań, analiza wyników badań,
dr inż. Grzegorz Kiesiewicz – analiza literaturowa, tłumaczenie manuskryptu,
prof. dr hab. inż. Tadeusz Knych – metodologia badawcza, analiza wyników badań,
dr hab. inż. Andrzej Mamala, prof. AGH – metodologia badawcza, analiza wyników badań,
dr hab. inż. Artur Kawecki, prof. AGH – metodologia badawcza, tłumaczenie manuskryptu,
mgr inż. Szymon Kordaszewski – wykonanie badań,
dr inż. Wojciech Ścieżor – analiza literaturowa,
mgr inż. Radosław Kowal – wykonanie badań,
dr inż. Artur Rojek – wykonanie badań,
mgr inż. Wiesław Majewski – wykonanie badań,
mgr inż. Marek Kaniewski – wykonanie badań
Roman Majnusz – wytworzenie materiałów do badań,
Romuald Wycisk – wytworzenie materiałów do badań,
inż. Michał Śliwka – wytworzenie materiałów do badań.*