

Daniel Pieniak, Mirosław Guzik, Kamil Pasierbiewicz, Agata Walczak

# Wstępne badania eksploatacyjnego zużycia przewodów jezdnych trakcji trolejbusowej

JEL: L62. DOI: 10.24136/atest.2019.197.

Data zgłoszenia: 08.06.2019. Data akceptacji: 06.08.2019.

*Trolejbusy są pojazdami przeznaczonymi do przewozu osób w systemach komunikacji zbiorowej. Integralną częścią systemu komunikacji trolejbusowej jest sieć trakcyjna, która służy do zasilania trolejbusów energią elektryczną o określonych parametrach w zmiennych warunkach eksploatacji. Istotnym elementem dla funkcjonowania sieci trolejbusowej są przewody trakcyjne, które tworzą tor jezdny. Przewody służą do zasilania trolejbusu energią elektryczną. W niniejszej pracy dokonano oceny eksploatacyjnego zużycia się wybranych przewodów trakcyjnych Djp 100, wykorzystywanych w trakcji trolejbusowej w Lublinie. Analizowano zmiany geometrii przewodów w wyniku zużycia. Określono pozostałą wytrzymałość mechaniczną przewodów zużytych. Ponadto wykonano badania chropowatości przewodów i badania mikroskopowe stanu warstwy wierzchniej przewodów. Badania miały charakter porównawczy, próbę referencyjną stanowiły przewody nowe – nieużywane.*

**Słowa kluczowe:** sieć trakcyjna trolejbusowa, skanowanie 3D, zużycie eksploatacyjne tribologiczne.

## Wstęp

Obecnie trolejbusy są wykorzystywane w transporcie zbiorowym osób w niewielkim stopniu. W Polsce trolejbusy eksploatowane są w 3 miastach: w Lublinie, Gdyni i Tychach [4]. Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Lublinie (MPK Lublin) eksploatuje 110 trolejbusów [5], Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej w Gdyni (PKT) – 88 [9], a Tyskie Linie Trolejbusowe (TLT) – 21 trolejbusów [10].

Wykorzystanie trolejbusów w komunikacji miejskiej jest istotnym czynnikiem urzeczywistniania celów europejskiej polityki transportowej. Przyczynia się bowiem do funkcjonowania zasoboszczędnego i niskoemisyjnego systemu transportowego w mieście [3]. W konsekwencji jest instrumentem ograniczania negatywnego wpływu transportu na środowisko naturalne oraz redukcji kosztów zewnętrznych działalności transportowej na obszarach zurbanizowanych [2].

Integralną częścią systemu komunikacji trolejbusowej jest sieć trakcyjna rozwieszona nad jezdnią. Służy ona do zasilania układu napędowego trolejbusów energią elektryczną o określonych parametrach w zmiennych warunkach eksploatacji. Tor jezdny tworzą 2 przewody zawieszone równolegle w odległości 600 mm. W jednym z przewodów płynie prąd o napięciu znamionowym 600 V; drugi przewód jest „zerowy”. Zasilanie trolejbusu zapewnione jest przez kontakt tarczowy elementów odbieraka prądu pojazdu z przewodem trakcyjnym. W wyniku współpracy w parze kinematycznej dochodzi do eksploatacyjnego zużycia przewodu trakcyjnego. Skutki zużycia wpływają m.in. na ograniczenia nośności przewodu [12].

Celem niniejszego artykułu jest ocena stopnia i skutków eksploatacyjnego zużycia przewodów trakcyjnych Djp 100,

stosowanych w sieci trolejbusowej w Lublinie. Obiekt badań stanowiły nowe i używane próbki przewodu trakcyjnego.

## Charakterystyka sieci trolejbusowej w Lublinie

Podstawową charakterystykę sieci trakcyjnej trolejbusowej w Lublinie zaprezentowano w tab. 1. Zawarto tam m.in. informacje o obciążeniach mechanicznych, geometrii sieci i parametry elektryczne sieci.

Konstrukcję nośną sieci stanowią zawieszania poprzeczne (fot. 1). W zawieszeniach wykorzystano linki ze stali nierdzewnej o przekrojach 25, 35 i 50 mm<sup>2</sup>. Wysięgniki (wsporniki) wykonano z pełnego szkło-laminatu (GRP – żywica poliestrowa wzmocniona włóknem szklanym) o średnicy 55 mm i maks. długości 12 m [6].

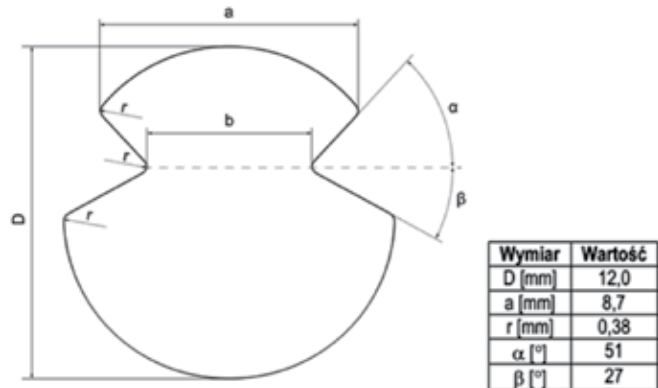
W celu zwiększenia sztywności wysięgników o długości powyżej 7,5 m oraz wysięgników zamontowanych w miejscach występowania załomów o kątach skierowanych do słupa o wartości sumarycznej powyżej 15° wykonano je jako podwójne. Zawieszania poprzeczne mocowane są do słupów trakcyjno-oświetleniowych.



**Fot. 1.** Zawieszenie poprzeczne wahadłowe. Podwieszenie przewodów trakcyjnych na wysięgnikach – typ Delta [6]

Tab. 1. Charakterystyka sieci trolejbusowej w Lublinie

Lp.	Wyszczególnienie	Parametr
1.	Typ sieci trolejbusowej	Wahadłowa
2.	Przewody jezdne	Djp 100
3.	Maksymalny naciąg przewodu jezdne	800 daN (8 kN)
4.	Typ zawieszenia	Plaski
5.	Wysokość toru jezdne od poziomu jezdni	~ 5,5 m
6.	Odstęp pomiędzy przewodami jednego toru	0,6±0,05 m
7.	Osprzęt sieciowy	Elektroline Czechy
8.	Izolacja sieci	Podwójna
9.	Przewody wyrównawcze	750 V/95 mm <sup>2</sup>
10.	Przewody zawierające izolatory sekcyjne	750 V/120 mm <sup>2</sup>



Rys. 1. Przekrój nominalny przewodu trakcyjnego Djp 100 [8]

Dla regulacji naciągu w zawieszach wykonano naprężniki kryte jako śruby rzymskie. W zawieszeniach poprzecznych zastosowano tłumiki drgań o długości 1,5 m (wykonane z linki izolacyjnej Parafil lub Kevlar) [6]. Na odcinkach prostych i załomach toru trolejbusowego do 2° standardem jest zawieszenie typu Delta (fot. 1) – wykonane z linki izolacyjnej 9 mm (Minorok, włókna poliestrowe, otulina PA) [6]. Na załomach o kącie większym od 2° zastosowano zawieszenia wahlowe z prowadnicami 1-, 2- i 3-uchwytowymi. Wykonano skrzyżowania jednotorowe.

W lubelskiej sieci trolejbusowej zastosowano przewód trakcyjny (jezdny) Djp 100 profilowany, wykonany z miedzi kadmowej. Przewód tego typu jest przeznaczony do zastosowań napowietrznych w sieciach trakcji kolejowej, tramwajowej i trolejbusowej, w systemach, w których prędkość maksymalna nie przekracza 160 km/h [8].

Największe naprężenie projektowe przewodu wynosi 80 MPa, maksymalny zakładany zwis przewodu jezdne wynosi 0,35 m przy rozpiętości zastępczej przęsła wynoszącej 26 m. Maksymalny obliczeniowy zwis przewodu wynosi 60 cm dla rozpiętości przęsła wynoszącej 35 m w okresie zimowym w temperaturze 20°C.

Do odbierania prądu z napowietrznej sieci trakcyjnej służą odbieraki prądu (fot. 2a). Sprężyny u podstawy odbieraka dociskają drążki odbieraka do przewodu trakcyjnego. Na końcu drążka zamontowana jest głowica odbieraka (fot. 2b), w której znajduje się wkładka (ślizg) grafitowa lub grafitowo-miedziana (w zimie) o przekroju dopasowanym do przewodu trakcyjnego (fot. 2d). Sama głowica ma 2 stopnie swobody (fot. 2b).

### Obiekt i metody badań

Obiekt badań stanowił przewód trakcyjny Djp 100. Przekrój znamionowy przewodu wynosi 100 mm<sup>2</sup>, moduł Younga – 120 GPa, przewodność elektryczna – 56,3 m/Ωmm<sup>2</sup>, minimalna wytrzymałość na rozciąganie – 355 MPa, a nominalna masa przewodu to

0,89 kg/m [8]. Charakterystyczne wymiary przewodu zaprezentowano na rys. 1. W badaniach wykorzystano odcinki przewodu trakcyjnego o długości 150 mm.

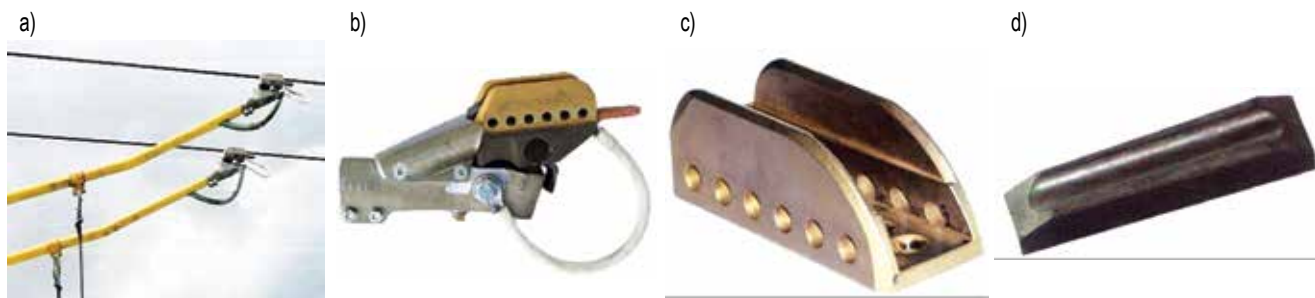
Wykonano pomiary geometryczne profilu przewodów trakcyjnych za pomocą skanera 3D GOM Atos III Triple i oprogramowania do kontroli jakości wymiarowej. Przeanalizowano odchyłki profilu przekroju w 3 odcinkach zmierzonych od końca próbki – 25 mm, 75 mm i 125 mm. Analizowano również położenie środka geometrycznego i promień łuku powierzchni ślizgowej przewodu Djp 100.

Badania chropowatości powierzchni przewodów wykonano na profilometrze optycznym Bruker. Badania mikroskopowe stanu warstwy wierzchniej przewodów wykonano na mikroskopie elektronowym skaningowym (SEM) Phenom Pro. Badania wytrzymałości mechanicznej i modułu sprężystości przewodów wykonano wg normy technicznej PN-EN ISO 6892-1:2009 [14] na maszynie wytrzymałościowej elektromechanicznej Zwicky/Roell Z100. W badaniach wykorzystano uchwyty hydrauliczne zapewniające automatyczny docisk szczęk w momencie wysuwania się próbek z uchwytów. Do pomiarów odkształcenia wykorzystano makroekstensometr makroXtens (Zwicky/Roell) (fot. 3).

### Wyniki badań i ich analiza

#### Wyniki badań geometrycznych

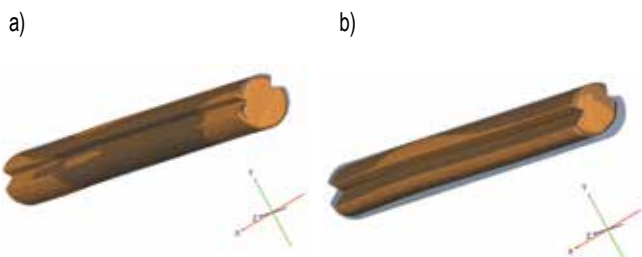
Na rysunku poglądowym (rys. 2) przewodu Djp 100 zaprezentowano zgodność kształtu rzeczywistych prętów z nominalnym modelem rzeczywistego pręta (pola zacienione). Nominalny model rzeczywisty powstał przez uśrednienie wymiarów w 3 rozważanych przekrojach rzeczywistej próbki bez historii eksploatacji i wyrównanie wynikowego profilu względem początku układu współrzędnych. W ten sposób uniknięto uwzględniania odchyłek geometrycznych nie spowodowanych zużyciem, lecz niedoskonałością rzeczywistego produktu względem doskonałego modelu teoretycznego.



Fot. 2. Elementy odbieraka prądu współpracujące z przewodem trakcyjnym Djp 100: a) odbieraki prądu trolejbusu, b) głowica odbieraka prądu, c) uchwyt ślizgu, d) ślizg grafitowy (grafitowo-miedziany) [7]



**Fot. 3.** Badanie wytrzymałości na rozciąganie i modułu sprężystości przewodów trakcyjnych Djp 100

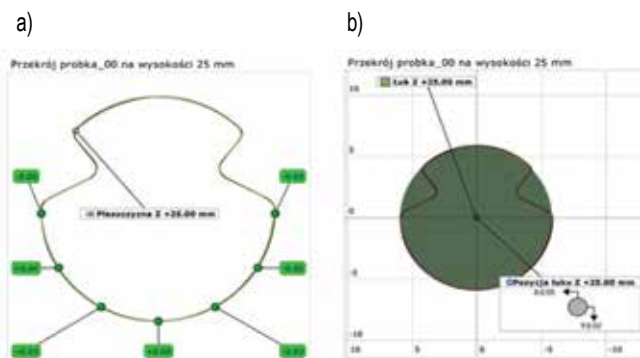


**Rys. 2.** Przewody trakcyjne: rzeczywisty bez historii eksploatacji – próbka\_00 (a) i używany – próbka\_01 (b) (odchyłki od wymiarów nominalnego modelu rzeczywistego)

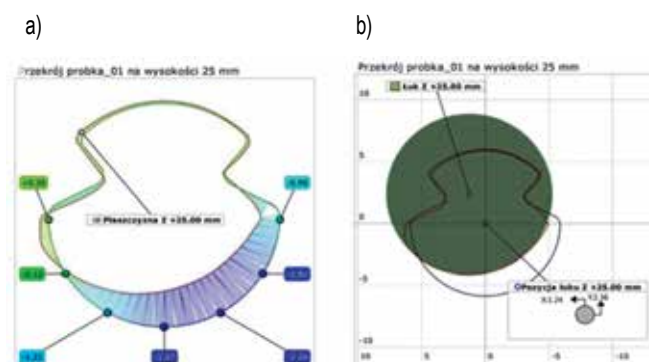
W celu otrzymania możliwie najdokładniejszych wyników przekroje rzeczywistych próbek na każdej wysokości były niezależnie bazowane względem nominalnego modelu na podstawie górnych zarysów, najlepiej zachowujących pierwotny kształt.

Na rys. 3a zaprezentowano odchyłki profilu przekroju w odległości 25 mm od końca próbki 00 (przewód nieużywany), na rys. 4a zaprezentowano odchyłki dla próbki używanej 01. Wykazano znaczące odchyłki profilu geometrycznego spowodowane zużyciem, wynoszące w niektórych miejscach ponad 2 mm. Zmiana geometrii była podobna we wszystkich 3 analizowanych przekrojach próbki 01. W drugiej i trzeciej z analizowanych próbek używanych wykazano jeszcze większe odchyłki profilu geometrycznego od nominalnego. Największe odchylenie wynosiło ponad 2,5 mm. Analizowano również położenie środka geometrycznego i promień łuku powierzchni ślizgowej przewodu Djp 100 (rys. 3b). W próbkach przewodu używanego wykazano znaczące przesunięcie geometrycznego środka pola przekroju, a także przesunięcie środka łuku powierzchni ślizgowej w obu kierunkach głównych. Wykazano również istotne zmiany pola powierzchni przekroju oraz niewielkie zmiany promienia łuku powierzchni ślizgowej (rys. 4b).

Zmiana geometrii przewodu powoduje zmianę powierzchni kontaktu ślizgacza i przewodu trakcyjnego. Zmiana głównych promieni krzywizn powoduje zmianę wymiarów półosi powierzchni styku.



**Rys. 3.** Odchyłki geometryczne (mm) profilu przekroju (a) i położenie środka geometrycznego łuku powierzchni ślizgowej (b) przewodu nieużywanego (nominalnego) – próbka\_00



**Rys. 4.** Odchyłki geometryczne (mm) profilu przekroju (a) i położenie środka geometrycznego łuku powierzchni ślizgowej (b) przewodu używanego – próbka\_01

Wymiary półosi są w mianowniku równania na największe naprężenia w środku styku wg Hertza [15], co oznacza, że mniejsza wartość wymiarów tych półosi wiąże się ze wzrostem naprężeń stykowych.

Dane uzyskane w badaniach geometrycznych posłużyły do obliczenia pól powierzchni i momentów bezwładności przekroi próbek. Sposób obliczenia momentów bezwładności przekroi prętów jest znany i opisany w literaturze z zakresu podstaw mechaniki i wytrzymałości materiałów [m.in. 1], dlatego też nie będzie prezentowany w niniejszej pracy. W tab. 2 zaprezentowano wartości obliczonych przekroi i momentów bezwładności.

Próbka nowa 00; próbka przewodu używanego (z historią eksploatacji) 01; próbka p. używanego 02; próbka p. używanego 03.

Kluczowe znaczenie w warunkach eksploatacji ma ugięcie przewodu trakcyjnego pod działaniem obciążeń statycznych własnych konstrukcji i sił czynnych dynamicznych występujących w warunkach eksploatacji, powstających np. w wyniku oddziaływania wiatru oraz głównie od nacisku odbieraków prądu. Strzałka ugięcia przewodu zależy od momentów bezwładności wyznaczonych względem osi centralnych. Wartość momentu jest w mianowniku równania na strzałkę ugięcia [11]. Im mniejsza wartość tej wielkości, tym większe ugięcie przewodu.

Zmiana warunków geometrycznych kontaktu może przekładać się również na zużywanie ślizgacza. Brak styku na dnie bruzdy technologicznej ślizgacza w kontakcie ze użytym przewodem może powodować większe naprężenia w ściankach bocznych wkładek, co prawdopodobnie prowadzi do ich przedwczesnego

Tab. 2. Obliczone pola powierzchni i momenty bezwładności przekroi próbek

Oznaczenie próbki	Przekrój [mm <sup>2</sup> ]	Momenty całkowite [mm <sup>4</sup> ]			Momenty główne [mm <sup>4</sup> ]	
		I <sub>xx</sub>	I <sub>yy</sub>	I <sub>xy</sub>	I <sub>pxx</sub>	I <sub>pyy</sub>
0-25	98,18	879,7	720,4	-7,56	880,1	720,1
0-75	98,07	877	718,6	-0,67	877,2	718,5
0-125	98,12	877,6	719,9	-0,9	877,6	719,9
1-25	79,4	559,2	518,8	-96,13	637,2	440,8
1-75	78,55	548,3	505,9	-87,12	616,8	437,4
1-125	78,27	541,6	502,2	-80,28	604,6	439,3
2-25	78,63	552,4	505,2	-59,41	592,7	464,8
2-75	78,59	551,7	504	-56,76	589,4	466,2
2-125	78,42	546,9	504	-52,34	582	468,9
3-25	82,81	609,6	547,8	90,41	674,2	483,2
3-75	79,83	571,2	512,6	87,46	634,1	449,6
3-125	73,12	491,9	438,1	95,1	563,9	366,2

  – próbka nowa 00      – próbka przewodu używanego (z historią eksploatacji) 01  
  – próbka przewodu używanego 02      – próbka przewodu używanego 03



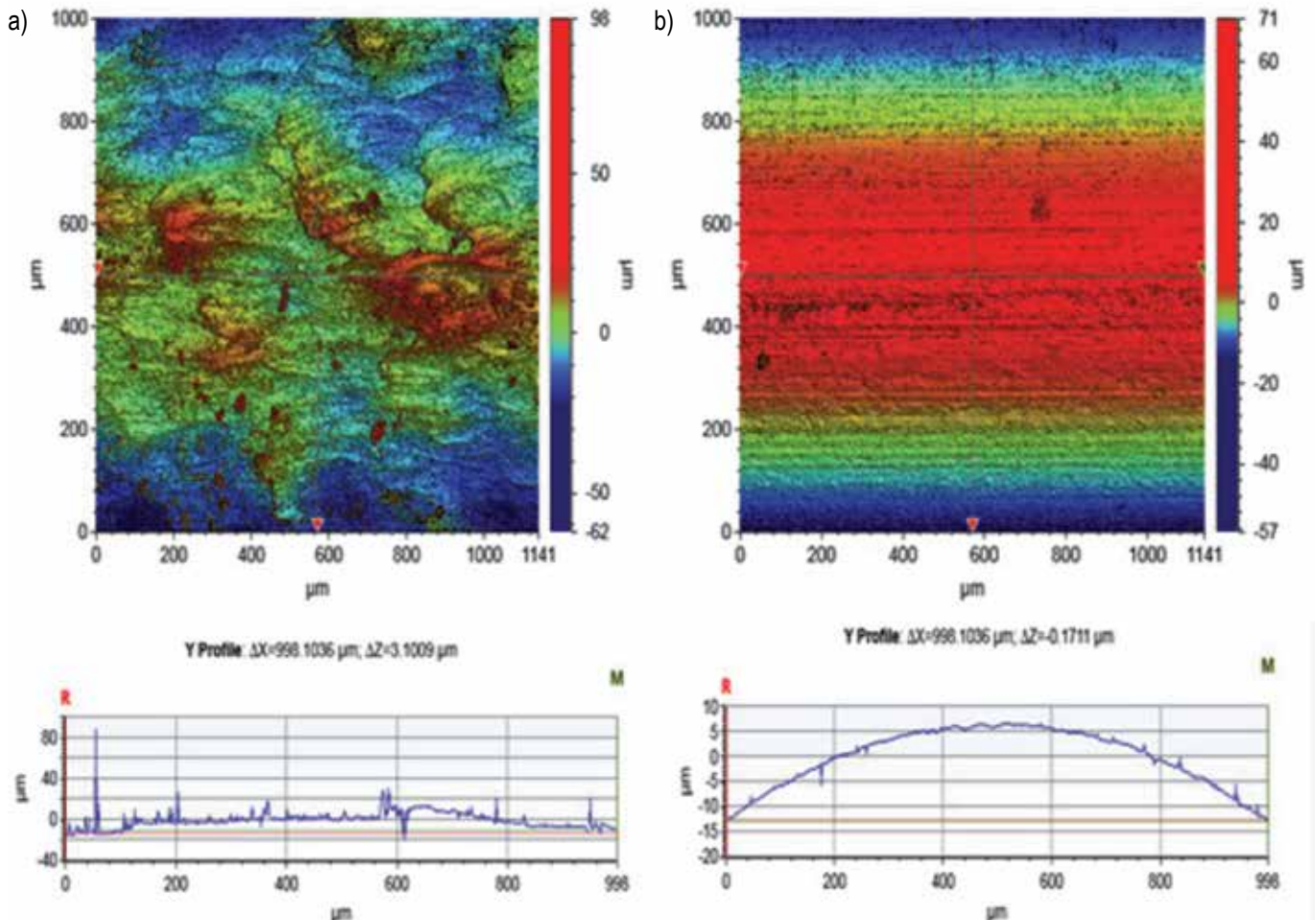
Fot. 4. Nowa (pierwsza od lewej) i zużyte wkładki ślizgowe głowicy troleja

### Wyniki badań chropowatości powierzchni tarcia przewodów trakcyjnych Djp 100

Badania profilu chropowatości powierzchni tarcia przewodów trakcyjnych wykonano na profilometrze optycznym. Wybrane wyniki pomiarów powierzchni tarcia przewodów nowego i używanego zestawiono na rys. 5.

Chropowatość powierzchni zmniejszyła się w wyniku użytkowania eksploatacyjnego. Wartość parametru Ra powierzchni próbki referencyjnej wynosiła ok. 7,5 μm, natomiast próbek używanych ok. 5 μm (tab. 3). W zauważalny sposób zmieniły się również inne parametry profilu chropowatości. Na tej podstawie można

wykruszania (fot. 4). Przesunięcie środka łuku powierzchni ślizgowej przewodu, związane z odkształceniem postaciowym, może powodować zużywanie z tendencją na jeden z boków wkładki. Prawdopodobnie nie jest to związane z załomami sieci trakcyjnej, ponieważ analogiczne siły występują po obydwu stronach ślizgacza.



Rys. 5. Wybrane profilogramy uzyskane na urządzeniu optycznym Bruker: a) przewód bez historii eksploatacji (nieużywany) – próbka 00, b) przewód zużyty – próbka 01

**Tab. 3.** Parametry chropowatości wg PN EN ISO 4287:1999 [13]

Parametr/ wielkość	Wartość		Jednostka
	Przewód nowy	Przewód używany 1	
Ra	7,527	4,975	μm
Rp	98,35	70,571	μm
Rq	9,667	5,792	μm
Rt	160,536	127,505	μm
Rv	-62,202	-56,934	μm

Ra – średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości; Rp – wysokość najwyższego wzniesienia profilu chropowatości; Rq – średnia kwadratowa rzędnych profilu chropowatości; Rt – całkowita wysokość profilu chropowatości; Rv – głębokość najniższego wgłębienia profilu chropowatości.

domniemywać, że w wyniku eksploatacyjnych zmian chropowatości zmieniają się warunki tarcia w parze kinematycznej ślizgacz – przewód trakcyjny.

### Wyniki badań mikroskopowych stanu powierzchni przewodów Djp 100

Na powierzchni przewodów nieużywanych można zaobserwować nierówności technologiczne (rys. 6). Na powierzchni tarcia przewodu zużytego widoczne są ślady zużycia tribologicznego abrazyjnego (rys. 7). Ten typ zużycia jest dominujący.

Widoczne są również liczne bruzdy powstałe najprawdopodobniej w wyniku mikroskrawania powierzchni (rys. 7c) przez produkty zużycia (twarde cząstki). Przy większych powiększeniach niekiedy obserwowano siatkę mikropęknięć na dnie bruzd (rys. 7d), powstałych w wyniku zużycia abrazyjnego. Obserwowano również nieliczne przypadki zużycia adhezyjnego (rys. 7e i 7f), którego skutkiem było usuwanie cząstek materiału warstwy wierzchniej.

### Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przewodów trakcyjnych Djp 100

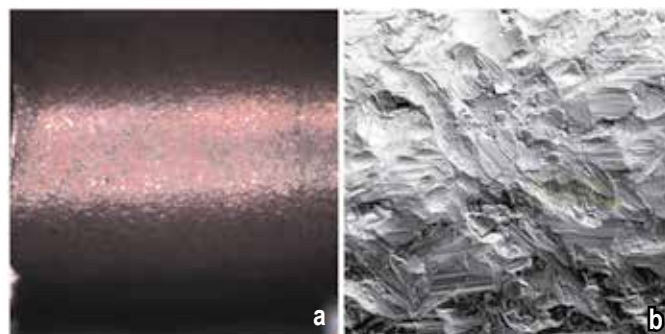
Na rys. 8 i 9 zaprezentowano charakterystyki rozciągania próbek przewodów trakcyjnych Djp 100. Kolory krzywych są zgodne z konwencją przyjętą w tab. 2.

W tab. 4 zaprezentowano parametry wytrzymałościowe uzyskane w próbie rozciągania próbek przewodów Djp 100 wg [14]. Zestawiono wartości następujących wielkości mechanicznych: E – moduł Younga, Rp(0,5) – granica proporcjonalności, Rm – wytrzymałość na rozciąganie, Fm – siła maksymalna.

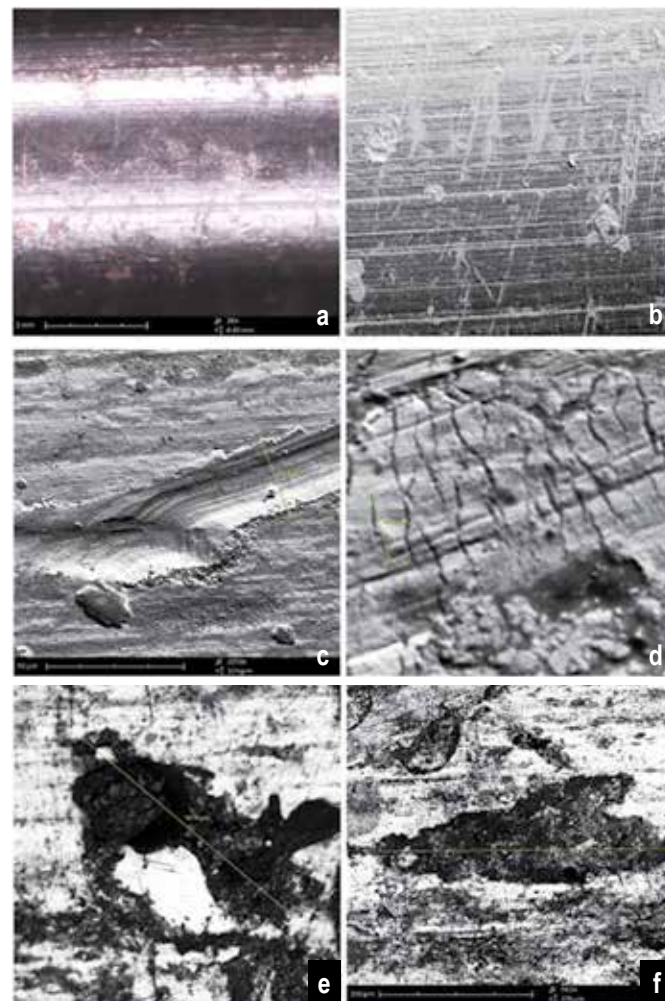
Wytrzymałość na rozciąganie przewodów trakcyjnych zmalała nieznacznie w stosunku do próbki referencyjnej. Natomiast nośność częściowo zużytych przewodów jest dużo niższa, siła zrywająca próbkę referencyjną wynosiła ok. 37 kN, próbek zużytych ok. 27 kN. Zmalała również wartość granicy plastyczności próbek z historią eksploatacji. Natomiast moduł sprężystości nie zmienił się w istotny sposób.

### Podsumowanie

W badaniach własnych wykazano znaczące odchyłki profilu geometrycznego i przesunięcie geometrycznego środka łuku powierzchni ślizgowej w obu kierunkach głównych przekroju przewodu Djp 100. Stwierdzono istotne zmiany pola powierzchni przekroju przewodu w wyniku zużywania tribologicznego. Określono mechanizmy zużywania tribologicznego przewodów. Dominujący okazał się abrazyjny mechanizm zużywania. Wytrzymałość na rozciąganie przewodów trakcyjnych częściowo zużytych zmalała nieznacznie. Natomiast ich nośność była dużo niższa, zmalała również granica plastyczności próbek z historią eksploatacji. Moduł sprężystości nie zmienił się w istotny sposób.



**Rys. 6.** Wyniki badań mikroskopowych powierzchni tarcia przewodu bez historii eksploatacji (przewód nieużywany): a) obraz z mikroskopu stereoskopowego, b) obraz SEM (widok topograficzny)

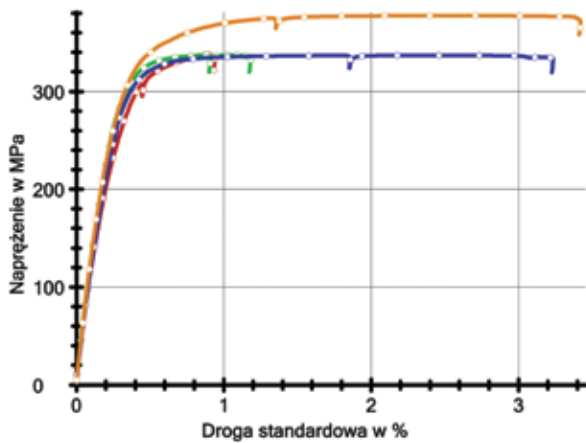


**Rys. 7.** Wyniki badań mikroskopowych powierzchni tarcia przewodów używanych, częściowo zużytych tribologicznie: a) obraz z mikroskopu stereoskopowego, b) obrazy SEM uszkodzeń powierzchniowych, c) bruzdy na powierzchni tarcia, d) mikropęknięcia na dnie bruzdy, e) i f) zużycie adhezyjne

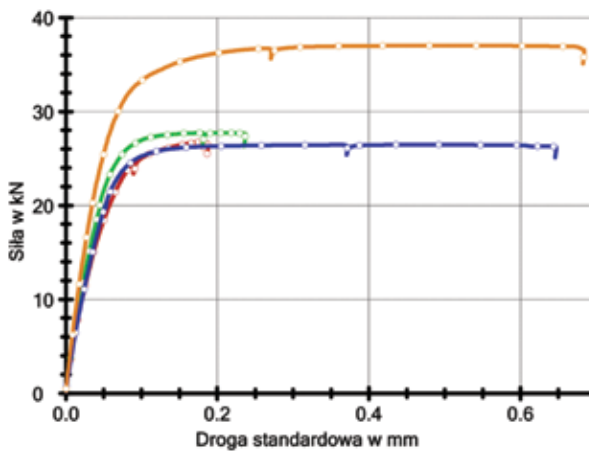
### Wnioski

Zaprezentowane wyniki badań mają na celu rozpoznanie mechanizmów niszczenia powierzchniowego i objętościowego przewodów trakcji trolejbusowej. Pozwalają one na sformułowanie następujących wniosków.

1. Rozpoznanie mechanizmów i intensywności niszczenia przewodów trakcyjnych ma znaczenie użytkowe.



Rys. 8. Charakterystyki napężenie – droga standardowa, uzyskane w próbie rozciągania próbek przewodu Djp 100 wg [6]



Rys. 9. Charakterystyki siła – droga standardowa, uzyskane w próbie rozciągania próbek przewodu Djp 100 wg [14]

Tab. 4. Parametry chropowatości wg PN EN ISO 4287:1999 [13]

Legenda	E [GPa]	Rp(0,5) [Mpa]	Rm [Mpa]	Fm [N]
Próbka nowa	132	361	378	37,01
Próbka przewód używany 1	140	336	337	27,72
Próbka przewód używany 2	120	333	337	26,46
Próbka przewód używany 3	131	333	338	26,77

- Wyniki przedmiotowych badań mogą być przydatne w ocenach jakości eksploatacyjnej przewodów trakcyjnych sieci trolejbusowej.
- Zaprezentowane badania mogą również być podstawą do prowadzenia prac mających na celu optymalizację materiału i przekroju przewodu trakcyjnego.
- W kolejnych etapach prac planowane są badania laboratoryjne właściwości tribologicznych skojarzenia wkładka grafitowa (ślizgacz) – przewód trakcyjny z miedzi kadmowej.

#### Bibliografia:

- Bąk R., Burczyński T., *Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2013.
- Dyr T., Misiurski P., Ziółkowska K., *Costs and benefits of using buses fuelled by natural gas in public transport*, „Journal of Cleaner Production” 2019, Vol. 225.

- Dyr T., *Europejska polityka transportowa na pierwszą połowę XXI wieku*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2011, nr 10.
- Hebel K., *Kierunki rozwoju komunikacji trolejbusowej w świetle wyników badań marketingowych w Gdyni*, „Logistyka” 2012, nr 3.
- <http://mpk.lublin.pl> (dostęp: czerwiec/lipiec 2018).
- <http://www.elektroline.cz> (dostęp: maj/czerwiec 2018).
- <http://www.esko-praha.cz> (dostęp: maj/czerwiec 2018).
- <http://www.nkt.com.pl> (dostęp: maj/czerwiec 2018).
- <http://www.pktgdynia.pl> (dostęp: czerwiec/lipiec 2018).
- <http://www.tlt.pl> (dostęp: czerwiec/lipiec 2018).
- Niezgodziński M. E., Niezgodziński T., *Wytrzymałość materiałów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- Pieniak D., Guzik M., Pasierbiewicz K., *Wstępne badania eksploatacyjnego zużycia przewodów jezdnym trakcji trolejbusowej (raport z badań)*, Seminarium Naukowe Lubelskiego Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego, Nałęczów 21.06.2018 r.
- PN-EN ISO 4287:1999: Specyfikacje geometrii wyrobów – Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa – Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- PN-EN ISO 6892-1:2009: Metale – Próba rozciągania – Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej.
- Wolny S., Siemieniec A., *Wytrzymałość materiałów, Część 2: Wybrane zagadnienia wytrzymałości materiałów*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2004.

#### Preliminary studies of operating wear of trolleybus traction wires

Trolleybuses are vehicles used for transport people in public transport systems. A traction network is an integral part of the trolleybus communication system. The traction network is used to supply trolleybuses with electricity with specified parameters in changing operating conditions. Important elements for the functioning of the trolleybus network are traction wires that form the roadway. The wires are used to supply the trolleybus with electricity. In the paper, operating wear of selected traction wires Djp 100 used in trolleybus traction in Lublin was evaluated. Changes in wires geometry as a result of wear were analyzed. Residual mechanical strength of used wires was determined. In addition, roughness measurements and microscopic studies of the condition of the wires surface were conducted. Studies were comparative nature, the reference specimens were new – unused.

**Keywords:** Trolleybus traction network, 3D scanning, tribological operating wear.

#### Autorzy:

dr hab. inż. **Daniel Pieniak** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Wydział Transportu i Informatyki  
 dr inż. **Mirosław Guzik** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Wydział Transportu i Informatyki  
 mgr inż. **Kamil Pasierbiewicz** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie  
 st. kpt. dr inż. **Agata Walczak** – Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie