

Maciej Auguściuk, Ewa Dzedzic, Marek Kaniewski, Artur Kawecki, Paweł Kiesiewicz, Tadeusz Knych, Mirosław Kuca, Paweł Kwaśniewski, Tadeusz Maciołek, Wiesław Majewski, Andrzej Mamala, Leszek Mierzejewski, Artur Rojek, Kazimierz Woźniak, Kazimierz Zasadziński

Nowa generacja wysokoobciążalnych sieci trakcyjnych – YC120-2CS150 i YC150-2CS150 (5).

Badania nowej sieci trakcyjnej

W cyklu artykułów na łamach tts została omówiona konstrukcja i właściwości nowej generacji sieci trakcyjnych. W ostatnim z cyklu artykułów zostały przedstawione wyniki badań tej sieci

Budowa nowej sieci trakcyjnej

Nowe sieci trakcyjne są trójprzewodowe, typu łańcuchowego. Składają się z 2 przewodów jezdnych o przekroju 150 mm² każdy, wykonanych z miedzi stopowej z domieszką srebra 1000 ppm i liny nośnej o przekroju 120 mm² (sieć YC120-2CS150, rys. 1) lub liny nośnej o przekroju 150 mm² (sieć YC150-2CS150, rys. 2). Sieci te mają zawieszenie elastyczne pod słupem wykonane z linki o przekroju 35 mm². Liny nośne wykonane są z miedzi elektrolitycznej. Sumaryczny przekrój przewodów wynosi: dla sieci YC120-2CS150 – 420 mm² Cu a dla sieci YC150-2CS150 – 450 mm² Cu. Sieć YC150-2CS150 ma największy przekrój poprzeczny z sieci budowanych w Polsce.

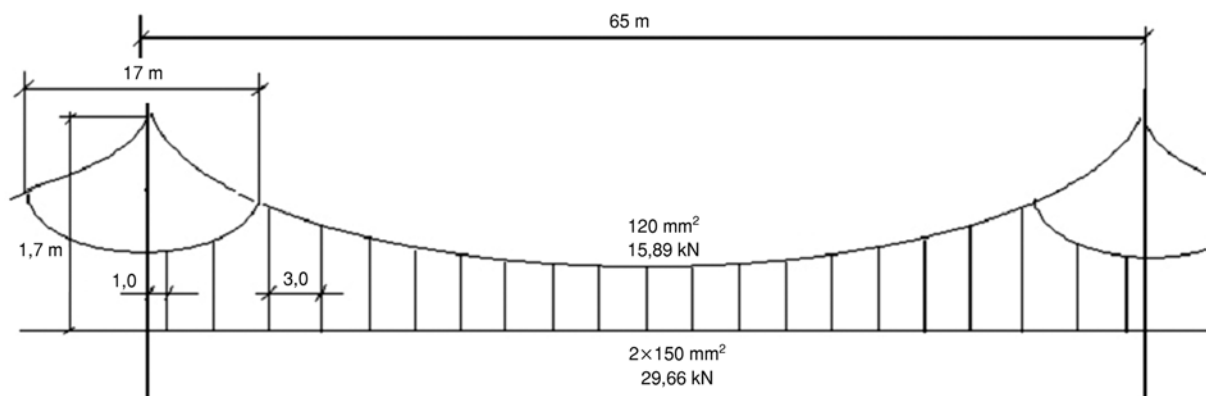
Podstawowe parametry obliczeniowe mechaniczne i elektryczne sieci YC120-2CS150 są następujące:

- naciąg w lince nośnej $F_a = 15,89$ kN;
- naciąg w przewodzie jezdnym $F_b = 29,660$ kN;
- naciąg w lince pomocniczej $F_c = 2,50$ kN;
- długość uelastycznienia $2 \times 8,5$ m;
- normalna długość przęsła 62 m;
- wysokość konstrukcyjna 1700 mm;
- odległość pierwszego wieszaka od słupa 1 m;

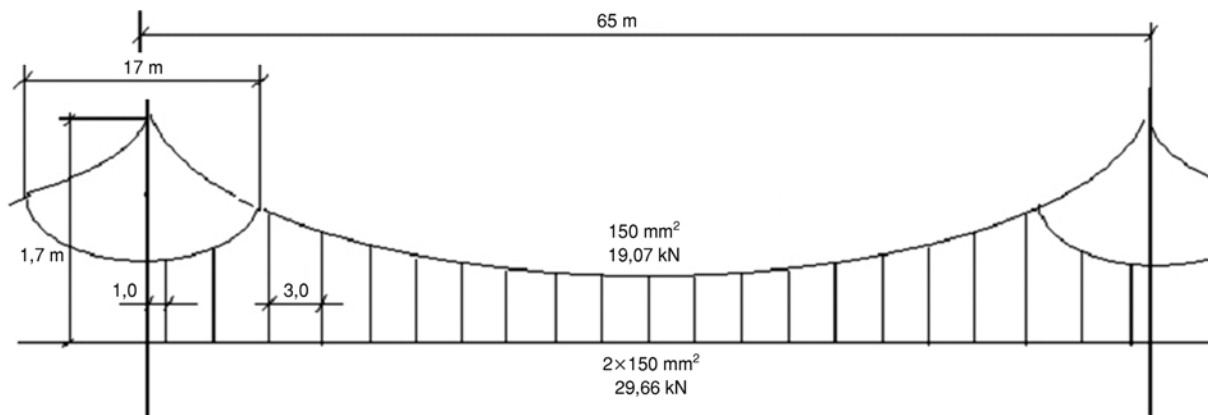
- odległość między kolejnymi wieszakami na tym samym przewodzie jezdnym 6 m, na sąsiednich przewodach jezdnych 3 m;
- elastyczność minimalna $e_{\min} = 2,84$ mm/daN (w 15% długości przęsła);
- elastyczność maksymalna $e_{\max} = 3,83$ mm/daN (w 15% długości przęsła);
- współczynnik nierównomierności elastyczności $u = 15\%$;
- zwis przewodu jezdnych 0 mm;
- prędkość rozprzestrzeniania się fali mechanicznej $v_c = 369$ km/h;
- okres drgań własnych $T = 1,378$ s;
- częstotliwość drgań własnych $f = 0,726$ Hz;
- obliczeniowa prędkość krytyczna $V_{kr} = 179,2$ km/h;
- współczynnik Dopplera α dla prędkości jazdy $v_b = 160$ km/h $\alpha = 0,40$, a dla $v_b = 200$ km/h – $\alpha = 0,32$;
- obciążalność prądowa $I = 2500$ A dla pociągów jadących z prędkością $v_b = 200$ km/h, z następstwem 10 min, przy prędkości wiatru $v = 0,6$ m/s i przyjętym granicznym przyroście temperatury dla CuETP $\Delta\vartheta_d = 80^\circ\text{C}$ a dla CuAg0,10 $\Delta\vartheta_d = 110^\circ\text{C}$.

Podstawowe parametry obliczeniowe mechaniczne i elektryczne sieci YC150-2CS150 są następujące:

- naciąg w lince nośnej $F_a = 19,07$ kN;
- naciąg w przewodzie jezdnym $F_b = 29,660$ kN;
- naciąg w lince pomocniczej $F_c = 2,50$ kN;
- długość uelastycznienia $2 \times 8,5$ m;



Rys. 1. Sieć trakcyjna typu YC120-2CS150



Rys. 2. Sieć trakcyjna typu YC150-2CS150

- normalna długość przęsta 65 m;
- wysokość konstrukcyjna 1700 mm;
- odległość pierwszego wieszaka od stupa 1 m;
- odległość między kolejnymi wieszakami na tym samym przewodzie jezdny 6 m, na sąsiednich przewodach jezdnych 3 m;
- elastyczność minimalna $e_{min} = 2,56$ mm/daN (w 15% długości przęsta);
- elastyczność maksymalna $e_{max} = 3,63$ mm/daN;
- współczynnik nierównomierności elastyczności $u = 17,2\%$;
- zwis przewodu jezdny 0 mm;
- prędkość rozprzestrzeniania się fali mechanicznej $v_c = 369$ km/h;
- okres drgań własnych $T = 1,377$ s;
- częstotliwość drgań własnych $f = 0,726$ Hz;
- obliczeniowa prędkość krytyczna $V_{kr} = 179,2$ km/h;
- współczynnik Dopplera α dla prędkości jazdy $v_b = 160$ km/h $\alpha = 0,40$, a dla $v_b = 200$ km/h – $\alpha = 0,32$;
- obciążalność prądowa $I = 2730$ A dla pociągów jadących z prędkością $v_b = 200$ km/h, z następstwem 10 min, przy prędkości wiatru $v = 0,6$ m/s i przyjętym granicznym przyroście temperatury dla CuETP $\Delta\vartheta_d = 80^\circ\text{C}$ a dla CuAg0,10 $\Delta\vartheta_d = 110^\circ\text{C}$.

Badania sieci trakcyjnej

Przeprowadzono badania statyczne nowych typów sieci i pantografu oraz dynamicznej współpracy tych elementów. Pantograf 5ZL pracował na lokomotywie EP09-06.

Opisane badania zostały przeprowadzone na pilotażowym odcinku nowych sieci trakcyjnych, na szlaku między stacjami Stara Wieś i Żychlin, obejmującym również przystanek Złotniki Kutnowskie.

Zakres badań

Podczas badań statycznych mierzono lub sprawdzano:

- siłę naciągu w przewodach jezdnych i linii nośnej,
- wysokość zawieszenia przewodów jezdnych w stanie statycznym,
- odsuw przewodów jezdnych,
- długość przęseł na odcinku pomiarowym,
- elastyczność statyczna sieci,
- charakterystykę pantografu.

Podczas pomiarów dynamicznych mierzono, obliczono lub rejestrowano:

- prędkość jazdy pociągu pomiarowego,
- pomiar napięć na pantografie i prądów pobieranych przez lokomotywę,
- liczbę i czas trwania przerw stykowych ślizgacza z przewodami jezdny,
- pionowe ugięcia ślizgacza i ramy pantografu,
- siłę stykowa między pantografem a siecią jezdny,
- obraz współpracy sieci jezdnej z pantografem, zarejestrowany za pomocą kamery TV.

Wyniki badań statycznych

Przewody sieci jezdnej były naciągnięte dwustronnie ciężarowym urządzeniem naprężającym. Naciągi w linii nośnej i przewodach jezdnych były wywołane za pomocą oddzielnych urządzeń ciężarowych.

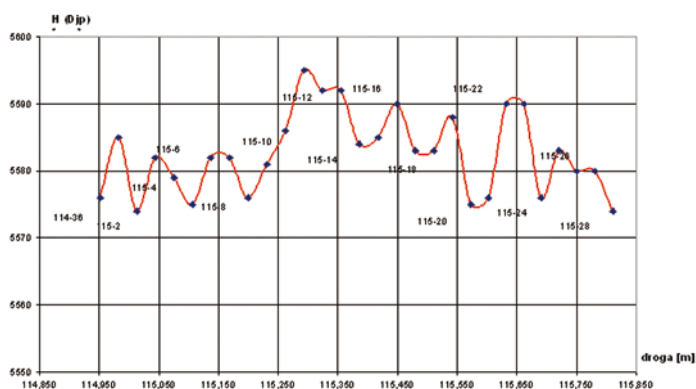
Obliczono, że naciągi wynoszą dla:

- dwóch przewodów jezdnych – 29,665 kN,
- liny L120 – 15,892 kN,
- liny L150 – 19,070 kN.

1. Pomiar wysokości zawieszenia przewodów jezdnych w warunkach statycznych

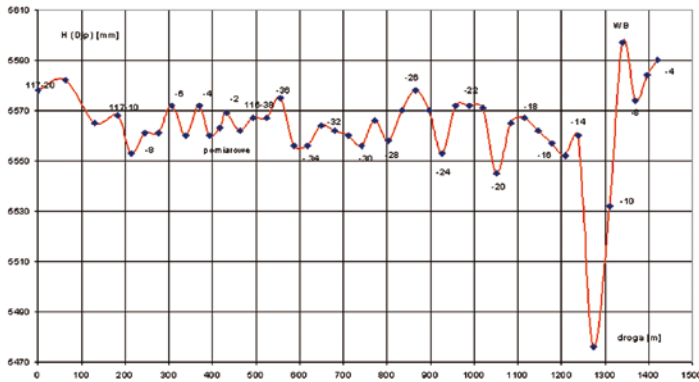
Wartość średnia wysokości zawieszenia przewodu jezdny dla sieci YC120-2CS150 wynosi 5563 ± 17 mm (odchylenie standardowe 17 mm) a dla sieci YC150-2CS150 wynosi 5583 ± 6 mm (odchylenie standardowe 6 mm). Wykres wysokości w funkcji drogi pokazano na rysunkach 3 i 4.

Różnica wysokości zawieszenia przewodów jezdnych między sąsiednimi konstrukcjami wsporczymi wynosi dla sieci:

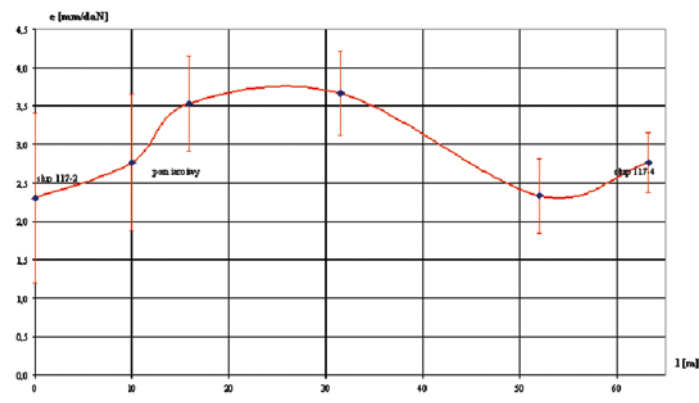


Rys. 3. Wykres wysokości w funkcji drogi odcinka pomiarowego dla YC150-2CS150

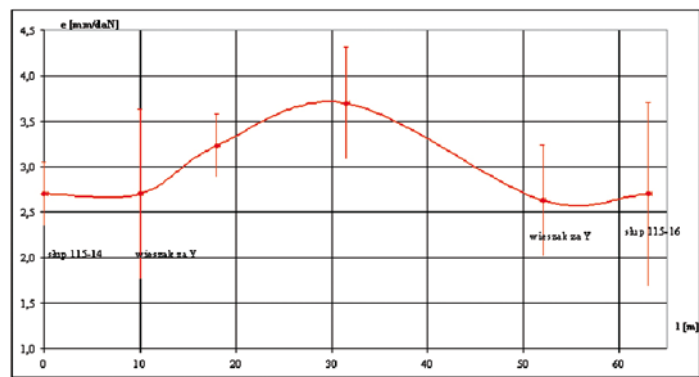
- YC120-2CS150 maksymalnie +42 mm, minimalnie -28 mm, wartość średnia 1 ± 17 mm,
- YC150-2CS150 maksymalnie +15 mm, minimalnie -28 mm, wartość średnia 0 ± 8 mm.



Rys. 4. Wykres wysokości w funkcji drogi dla sieci YC120-2CS150



Rys. 5. Elastyczność sieci trakcyjnej YC120-2CS150



Rys. 6. Elastyczność sieci trakcyjnej YC150-2CS150

Tablica 1

Elastyczność i współczynnik elastyczności sieci trakcyjnych

Elastyczność i współczynnik nierównomierności elastyczności	YC150-2CS150 wartość		YC120-2CS150	
	wartość			
	zmierzona (przęsło 63 m)	teoretyczna (przęsło 65 m)	zmierzona (przęsło 63 m)	teoretyczna (przęsło 65 m)
e_{\max} [mm/daN]	$3,7 \pm 0,6$	3,63	$3,7 \pm 0,5$	3,83
E_{\min} [mm/daN]	$2,6 \pm 0,6$	2,56	$2,3 \pm 0,5$	2,84
u [%]	17,50	17,20	23,00	15,00

2. Pomiar odsuwu przewodów jezdnych

Średnia bezwzględnej wartości odsuwu skrajnego przewodu jezdnych wyniosła 31 ± 3 mm. Maksymalna wartość odsuwu wyniosła 350 mm. Odsuw przewodów jezdnych spełnia wymagane kryterium.

3. Pomiar długości przęseł

Średnia zmierzona długość przęseł wyniosła $62,2 \pm 0,9$ m.

4. Pomiar elastyczności sieci trakcyjnej

Podczas pomiaru elastyczności mierzono przemieszczenia przewodów jezdnych pod wpływem sił 0, 50, 100, 150 N. Na podstawie pomiarów obliczono statyczną elastyczność sieci trakcyjnej w przęsłach. Zmienność elastyczności w funkcji drogi pokazano na rysunkach 5 i 6.

Maksymalna wartość elastyczności w przęśle wystąpiła w jego połowie, a minimalna wartość elastyczności wystąpiła w obszarze konstrukcji wsporczych. Wartości maksymalnej i minimalnej elastyczności oraz współczynnik nierównomierności elastyczności podano w tablicy 1.

5. Obliczenie maksymalnej prędkości jazdy

Prędkość (v_c) rozchodzenia się fali mechanicznej, poprzecznej w przewodzie jezdnym, wywołanej przez odbierak prądu wynosi 369 km/h.

Kryterium maksymalnej prędkości dla obu typów sieci $v_{\max} = 0,7 v_c$ będzie zachowane, gdy prędkość jazdy nie przekroczy 258 km/h.

Wyniki badań dynamicznych

Badania dynamiczne polegały na tym, że ten sam odcinek sieci trakcyjnej badany był wielokrotnie podczas przejazdów ze zwiększającą się prędkością jazdy. Sieci trakcyjne YC120-2CS150 oraz YC150-2CS150 badano w zakresie prędkości 123–178 km/h.

1. Sprawdzenie charakterystyki nacisku statycznego pantografu

Średnia wartość nacisku statycznego w zakresie roboczym pantografu wyniosła 96 N, a podwójna siła tarcia 39 N.

2. Pomiar liczby i czasu przerw stykowych

Stwierdzono, że w zakresie badanych prędkości jazdy nie występowały przerwy styku między odbierakiem prądu a siecią trakcyjną. Wobec tego spełnione jest wymagane kryterium bezprzerwowego odbioru prądu. Postać graficzną zależności napięcia w funkcji czasu przejazdu dla próby o maksymalnej prędkości jazdy przedstawiono na rysunku 7.

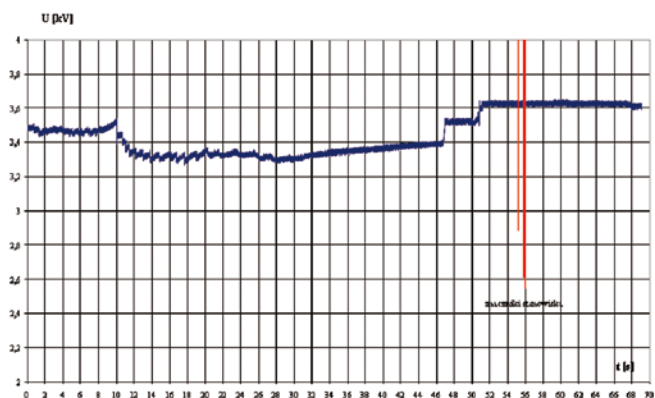
3. Pomiar ugięcia ślizgacza i dynamicznej wysokości zawieszenia przewodów jezdnych

Średnie ugięcie ślizgacza dla sieci YC120-2CS150 wyniosło 70% (strona prawa) i 74% (strona lewa) całkowitego ugięcia konstrukcyjnego ślizgacza.

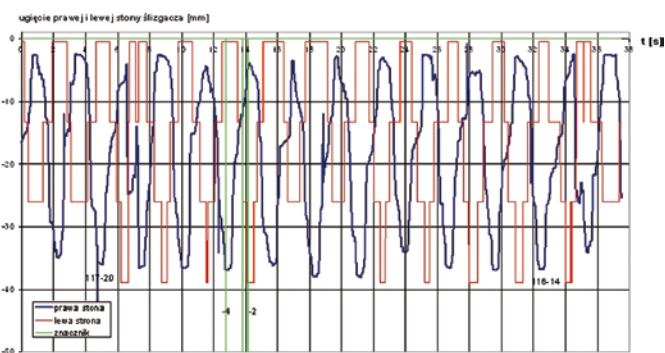
Średnie ugięcie ślizgacza dla sieci YC150-2CS150 wyniosło 77% (strona prawa) i 78% (strona lewa) całkowitego ugięcia konstrukcyjnego ślizgacza.

Postać graficzną tych zależności w funkcji czasu przejazdu przedstawiono na rysunkach 8 i 9.

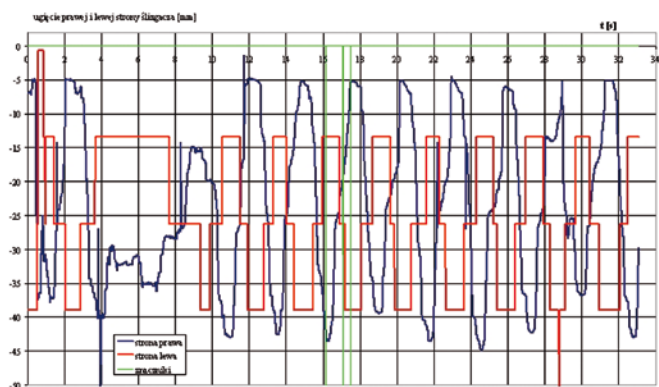
Dla sieci YC120-2CS150 maksymalna zmiana dynamicznej wysokości w przęśle wyniosła 82 mm (w przęśle naprężenia), a wartość średnia z wszystkich prób wynosi 26 ± 13 mm.



Rys. 7. Napięcie na pantografie podczas próby w której $v = 178 \text{ km/h}$, sieć Yc120-2CS150



Rys. 8. Ugięcie prawej i lewej strony ślizgacza podczas poróby o $v = 178 \text{ km/h}$, sieć YC120-2CS150

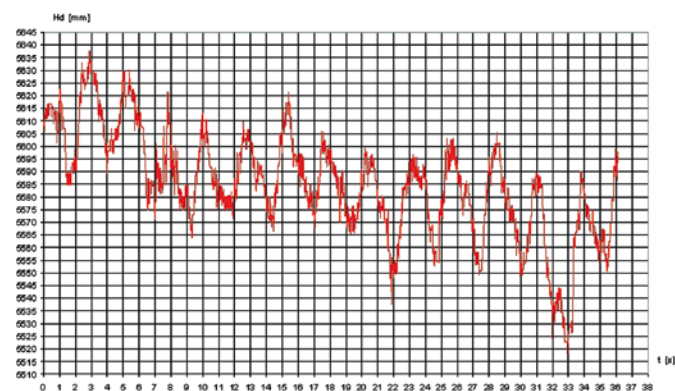


Rys. 9. Ugięcie prawej i lewej strony ślizgacza podczas poróby o $v = 178 \text{ km/h}$, sieć YC150-2CS150

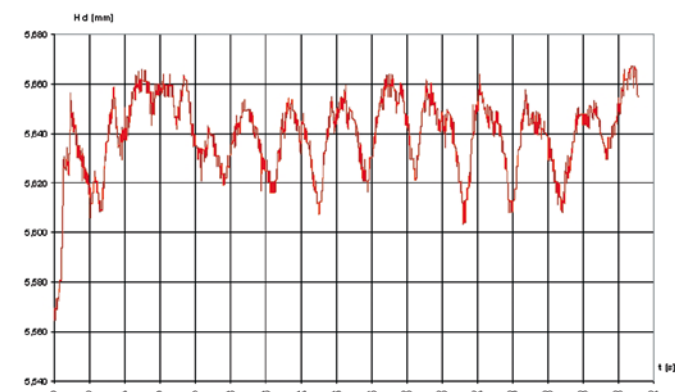
Dla sieci YC150-2CS150 maksymalna zmiana dynamicznej wysokości w przęśle wyniosła 62 mm (w przęśle naprężenia), a wartość średnia z wszystkich prób wynosi $24 \pm 9 \text{ mm}$. Kształt zmiany dynamicznej wysokości jest zbliżony do sinusoidy co świadczy o poprawnej współpracy odbieraka prądu z siecią jezdnią. Postać graficzną dynamicznej wysokości pokazano na rysunkach 10 i 11.

Uniesienia przewodów jezdnych pod wpływem przejeżdżającego pantografu

Dla sieci YC120-2CS150 uniesienie przewodów jezdnych pod słupem przy prędkości 160 km/h wynosi 95 mm.



Rys. 10. Dynamiczna zmiana wysokości przewodów jezdnych sieci YC120-2CS150

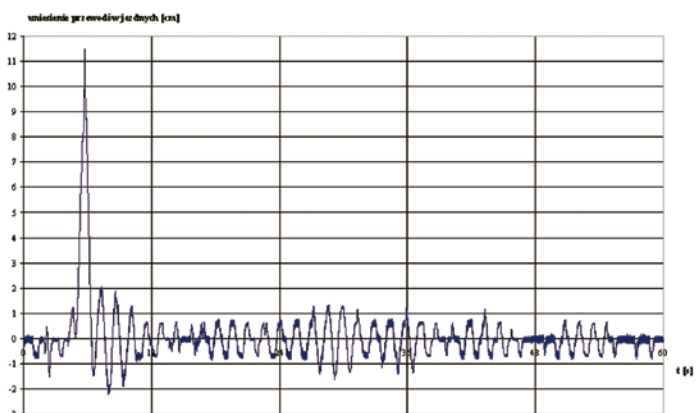


Rys. 11. Dynamiczna zmiana wysokości przewodów jezdnych sieci YC150-2CS150

Dla sieci YC150-2CS150 uniesienie przewodów jezdnych pod słupem przy prędkości 178 km/h, wynosi 85 mm. Postać graficzną uniesienia przewodów jezdnych przedstawiono na rysunkach 12 i 13.

Analiza obrazu współpracy pantografu z siecią jezdnią zarejestrowanego za pomocą kamery TV

Do przeglądu obrazów współpracy pantografu z sieciami jezdninymi użyto funkcji zmniejszenie szybkości 50% i stopklatki. Rejestracji i przeglądu obrazu dokonano na całym odcinku pomiarowym, to jest na dwóch odcinkach naprężenia sieci YC120-2CS150 i YC150-2CS150.



Rys. 12. Uniesienie przewodów jezdnych $v=178 \text{ km/h}$, $3/4$ przęsła

Nie stwierdzono iskrzeń między ślizgaczem a przewodami jezdny. Współpraca pantografu z siecią trakcyjną była prawidłowa, bez iskrzeń, oderwań i gwałtownych kołysań.

Obliczenie wartości siły stykowej między pantografem a siecią jezdnią

Obliczając wartości siły stykowej między pantografem a siecią jezdnią posłużono się następującym algorytmem:

- obliczono prędkość ślizgacza v_{sl} , która jest pierwszą pochodną przemieszczenia ślizgacza h_{sl} względem czasu t ;
- obliczono przyspieszenie, które jest drugą pochodną przemieszczenia ślizgacza h_{sl} względem czasu t .

Chwilowe wartości siły stykowej pantografu obliczono mnożąc chwilowe wartości przyspieszeń przez masę zastępczą rucho-

mej części pantografu (32 kg dla pantografu 5ZL) i dodając wektorowo do wartości siły statycznej pantografu.

Prędkość chwilową i przyspieszenie chwilowe, jako pochodną, obliczono metodą wielomianu interpretacyjnego.

Wykresy chwilowych wartości siły stykowej pantografu we współpracy z siecią jezdnią podczas próby z maksymalną prędkością dla sieci YC120-2CS150 i sieci YC150-2CS150 pokazano na rysunkach 14 i 15.

Wartość średnia siły stykowej w próbie (sieć YC120-2CS150) wyniosła 96 N a odchylenie standardowe 7 N. Wartość $F_m - 3\sigma = 75$ N. Wartość średnia siły stykowej w próbie (sieć YC150-2CS150) wyniosła 96 N a odchylenie standardowe 2 N. Wartość $F_m - 3\sigma = 90$.

Wnioski

Z przeprowadzonych badań statycznych nowych typów sieci trakcyjnej wynika, że prawidłowe są: naciągi przewodów jezdnych i lin nośnych, wysokość zawieszenia przewodów jezdnych, tolerancja wysokości zawieszenia przewodów jezdnych, różnice wysokości zawieszenia na sąsiednich konstrukcjach wsporczych, odsuwy przewodów jezdnych, długości pręseł, współczynnik nierównomierności elastyczności dla sieci YC150-2CS150. Współczynnik nierównomierności elastyczności dla sieci YC120-2CS150 jest większy o 50% od wartości obliczeniowej lecz spełnia wymagania standardu PKP do 160 km/h [1].

Z przeprowadzonych badań dynamicznej współpracy sieci trakcyjnych YC120-2CS150 i YC150-2CS150 z pantografem 5ZL, przy prędkości jazdy od 120 do 160 km/h stwierdzono, że sieci trakcyjne spełniają wszystkie wymagane kryteria i mogą być stosowane na PKP do prędkości jazdy 160 km/h.

Podsumowanie

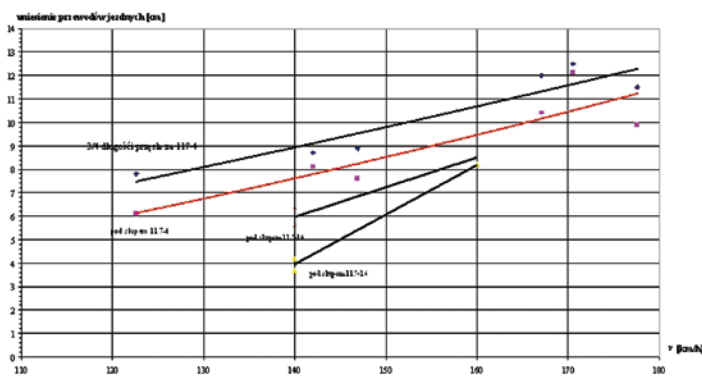
W ramach cyklu artykułów zamieszczono fragmenty opracowań poszczególnych etapów projektowania i wdrożenia nowoczesnych rozwiązań materiałowych dla elementów górnej sieci trakcyjnej wysokoobciążalnych mechanicznie oraz prądowo, przeznaczonych dla magistralnych linii kolejowych, zasilanych napięciem 3 kV DC.

Przedsięwzięcie realizowane jest przez wiele podmiotów, przede wszystkim przez naukowców z Wydziału Metali Nieżelaznych AGH, Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa, Zakładu Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej, PKP PLK S.A., CBPBBK „Kolprojekt” Sp. z o.o., a także firmy Tele-Fonika Kable S.A. i KUCA, producentów elementów nośno-przewodzących sieci jezdnej.

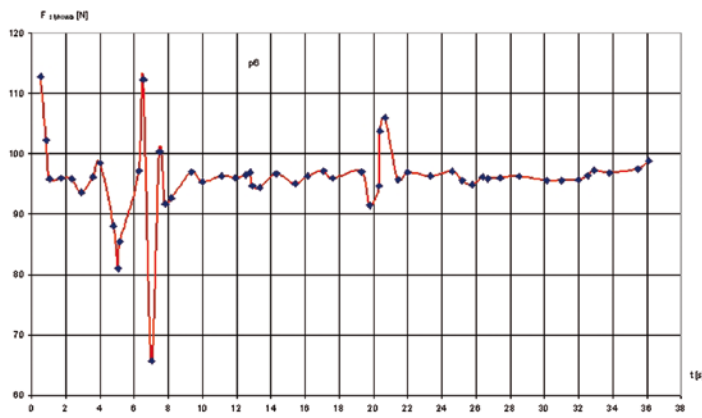
Doświadczalny odcinek nowoczesnej sieci trakcyjnej, wyposażonej w nowe elementy nośno-przewodzące, zbudowano według najnowszych technologii w 2005 r. na linii E20 w torze nr 2 na szlaku Żychlin – Stara Wieś przez firmę PKP Energetyka Sp. z o.o., Zakład w Słotwinach.

Przy budowie sieci trakcyjnej nowego typu zastosowano innowacyjne rozwiązania elementów nośno-przewodzących zarówno jeśli chodzi o skład chemiczny materiałów, jak również ich kształt i wymiary.

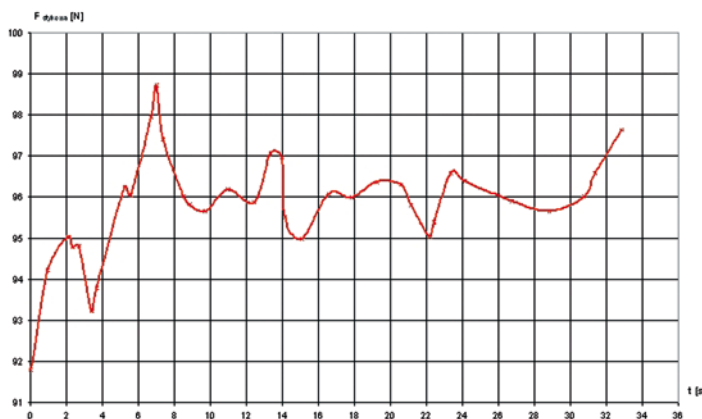
Jak wykazały przeprowadzone badania, miedź z dodatkiem srebra w gatunku CuAg0,10, z której wykonano przewody jezdne DjpS typu AC-100 oraz AC-150, umożliwia istotne zwiększenie ich odporności cieplnej w porównaniu do tradycyjnie stosowanych przewodów z miedzi w gatunku ETP. Jak wynika z przepro-



Rys. 13. Uniesienie sieci jezdnej w funkcji prędkości dla obu typów sieci trakcyjnej



Rys. 14. Siła stykowa powstała między ślizgaczem pantografu i YC120-2CS150



Rys. 15. Siła stykowa powstała między ślizgaczem pantografu i YC150-2CS150



Rys. 16 Testowanie nowego typu sieci na odcinku doświadczalnym Żychlin-Stara Wieś. Jednostka pomiarowa wraz z lokomotywą EP09-006



Rys. 17 Widok z kabiny maszynisty podczas jednego z przejazdów testowych

wadzonych badań, miedź srebrna może być wykorzystana do produkcji elementów przewodzących, zwłaszcza przewodów jezdnych typu AC-150, wchodzących w skład nowoczesnych sieci trakcyjnych charakteryzujących się wysoką obciążalnością prądową oraz dużymi prędkościami jazdy pojazdów szynowych.

Zastosowany wysokoprzewodzący, utwardzalny wydzieleniowo stop miedzi Cu-Ni-Si, ze względu na bardzo dobre właściwości mechaniczno-elektryczne, może być stosowany jako materiał do produkcji nowej generacji osprzętu trakcyjnego.

Przeprowadzone badania statyczne na rozwieszonych sieciach wykazały prawidłowość parametrów konstrukcji, zastosowanych sił naciągów, tolerancji zawieszenia, itp. Wyniki testów dynamicznej współpracy sieci trakcyjnych YC120-2CS150 i YC150-2CS150 z jednostką pomiarową potwierdziły założenia konstrukcyjne – sieci te spełniają wszystkie wymagane kryteria i mogą być stosowane na PKP do prędkości jazdy 160 km/h i obciążalności prądowej ponad 2500 A.

Przedsięwzięcie dofinansowane jest przez MNiSW w ramach projektów celowych *Opracowanie i wdrożenie technologii wytwa-*

rzania z miedzi stopowej przewodzących elementów górnej sieci trakcyjnej o znamionowej obciążalności prądowej powyżej 2,5 kA i podwyższonej wytrzymałości mechanicznej (nr 6 T08 2004C/06482, wykonawca projektu – Tele-Fonika Kable S.A.) oraz Opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania nowej generacji nośno-przewodzącego osprzętu do wysokoobciążalnych trakcji kolejowych (nr 6 ZR7 2005C/06634, wykonawca projektu – Firma Kuca).

□

Literatura

- [1] *Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji linii CMK do prędkości jazdy 200/250 km/h.* CNTK. Warszawa, marzec 2002 r.
- [2] *Wechselwirkung Stromabnehmer/Fahrleitung.* European Rail Reserch Institute ERRI A 186/RP 1, Utrecht, 041996 r.
- [3] Kaniewski M.: *Badania eksploatacyjne doświadczalnego odcinka sieci trakcyjnej zbudowanej z doświadczalnej partii elementów przewodzących z miedzi srebrowej.* CNTK Warszawa 2006 r.

III Wrocławskie Forum Logistyki i Technologii Logistycznych WROLOG – 2007

Inżynieria procesów logistycznych

Wrocław, 27–28 września 2007 r.

- Logistyka zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji
- Systemy automatycznej identyfikacji
- Komputerowe wspomaganie logistyki (CAL)
- Magazynowanie
- Opakownictwo
- Systemy transportu wewnętrznego
- Ekologistyka
- EDI, e-logistyka

Komitet organizacyjny

III Forum Logistyki i Technologii Logistycznych WROLOG - 2007

Institut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wroclawska, 50-371 Wrocław, ul. I. Łukasiewicza 7/9

Sekretariat

P. Zając tel. 071 320 27 19

S. Kwaśniowski tel. 071 320 27 33, fax 071 322 76 45

e-mail: wrolog@pwr.wroc.pl ■ www: www.wrolog.pwr.wroc.pl