

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 (1).

Założenia techniczno-konstrukcyjne

Tworzenie systemu europejskich linii kolejowych dużej prędkości, również dla systemu 3 kV DC, postęp techniczny w budowie pojazdów trakcyjnych oraz przewidywane zwiększenie środków finansowych na inwestycje powoduje zainteresowanie nowymi technikami kolejnictwa, a w przypadku Polski również nowymi typami sieci trakcyjnej. Konieczność dostosowania krajowych linii kolejowych do nowoczesnych standardów technicznych, tj. dużych prędkości jazdy i zwiększonej obciążalności prądowej spowodował wzrost wymagań stawianych wszystkim elementom górnej sieci trakcyjnej, do których zalicza się między innymi nośno-przewodzący osprzęt sieciowy.

W cyklu artykułów przedstawione zostanie kompleksowe ujęcie zagadnienia powstania nowego typu sieci trakcyjnej przeznaczonej do eksploatacji w polskim systemie zasilania na liniach magistralnych o prędkości 160 km/h. Przedstawiono genezę powstania problematyki, charakterystykę stanu obecnego, wymagania wobec nowego typu sieci i etap projektowania konstrukcji sieci. Ponadto, w dalszej części opracowania zamieszczono założenia dotyczące własności oraz technologię wytwarzania poszczególnych elementów nośno-przewodzących górnej sieci trakcyjnej, etapy budowy sieci i ostatecznie badania eksploatacyjne prowadzone przy wykorzystaniu specjalistycznych jednostek pomiarowych.

Zaostrzenie rygorów eksploatacyjnych sieci, tj. prędkość do 160 km/h oraz jednocześnie zwiększenie mocy pojazdów trakcyjnych do 6 MW może się przyczynić do utrudnionego odbioru przez pantograf z sieci trakcyjnej prądów rzędu 2500 A bez pogorszenia właściwości mechanicznych i elektrycznych przewodów jezdnych i nakładek ślizgaczy pantografów.

Przedsięwzięcie mające na celu opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania przewodzących elementów górnej sieci trakcyjnej o zwiększonej, w stosunku do obecnej, obciążalności prądowej i podwyższonej wytrzymałości mechanicznej realizowane jest przez interdyscyplinarny zespół naukowy pracowników Wydziału Metali Nieżelaznych AGH, Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa, Zakładu Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej, a także Tele-Foniki S.A., Firmy Produkcyjnej KUCA, producentów elementów przewodzących sieci jezdnej. Doświadczalny odcinek nowoczesnej sieci trakcyjnej wyposażonej w no-

we elementy przewodzące wykonany został na zlecenie PKP PLK S.A.

Cykl artykułów będzie składał z kilku części. Na wstępie, dokonana została analiza niektórych parametrów dynamicznych sieci trakcyjnych stosowanych w zarządzach kolejowych krajów zachodnich. W oparciu o wartości tych parametrów oraz zależności między nimi poczyniono założenia dla nowej konstrukcji sieci trakcyjnej, która będzie pozwalała na właściwą współpracę z odbierakami prądu dla prędkości 160 km/h i powyżej oraz o zwiększonej obciążalności prądowej powyżej 2500 A. Dokonano teoretycznych obliczeń parametrów nowego typu sieci trakcyjnych. Zawarto również wstępne informacje dotyczące budowy odcinka doświadczalnego, prowadzonych próbach i badaniach. Przedstawiono nowoczesną technologię budowy sieci trakcyjnej.

W kolejnej części przedstawiono wyniki badań stanowiących fragment szeroko zakrojonego zakresu prac prowadzonych przez zespół naukowców WMN AGH we współpracy z CNTK i Tele-Foniką S.A., dotyczących przewodów jezdnych nowej generacji wykonywanych z miedzi z dodatkiem srebra. W szczególności zamieszczono charakterystyki zmian własności mechanicznych wywołanych nagrzewaniem prądowym przewodów jezdnych typu AC-100 i AC-150 wykonanych z miedzi srebrowej CuAg_{0,10} oraz w celach porównawczych, z miedzi elektrolitycznej ETP (AC-100) – dotychczas stosowanej na przewody jezdne w polskich sieciach trakcyjnych.

Przedstawiony zostanie również nowy typ osprzętu trakcyjnego opracowanego przez interdyscyplinarny zespół pracowników AGH, CNTK, PKP PLK S.A. oraz Firmy Produkcyjnej KUCA w ramach projektu celowego dofinansowanego przez MNiSW, przeznaczony do sieci trakcyjnych o wysokiej obciążalności prądowej i mechanicznej. W szczególności ukazano charakterystykę materiału, opis i budowę wybranego asortymentu osprzętu oraz wyniki specyficznych badań jego współpracy z elementami sieci w symulowanych warunkach eksploatacyjnych.

Nowoczesne rozwiązania materiałowe oraz konstrukcyjne przewodów jezdnych, lin nośnych i osprzętu sieciowego stały się przyczynkiem do budowy i badania dwu nowych typów sieci trakcyjnej o symbolach YC120-2CS150 i YC150-2CS150. Pod względem elektrycznym i mechanicznym mogą one stać się sieciami konkurencyjnymi dla wariantów sieci 2C120-2C, stosowanych między innymi na CMK.

Sieć trakcyjna nowego typu YC150-2CS150 z przewodami o przekroju 150 mm² ma przekrój elektryczny 450 mm², jest więc on zbliżony do sieci 2C120-2C, jednak nowa sieć jest łatwiejsza w budowie (i konserwacji) ze względu na zastosowanie tylko trzech przewodów. W nowej sieci oprócz przewodów zastosowano też nowy osprzęt do ich łączenia.

Cykl artykułów zakończą wybrane wyniki badań obciążalności prądowej elementów górnej sieci trakcyjnej, a także badania statyczne nowych typów sieci i pantografu oraz dynamicznej współpracy tych elementów. Badania zostały przeprowadzone na pilotażowym odcinku sieci trakcyjnej, na szlaku między stacjami Stara Wieś i Żychlin, obejmującym również przystanek Złotniki Kutnowskie na linii magistralnej Warszawa – Berlin.

Czynnikiem decydującym o możliwościach kursowania szybkich pociągów jest i będzie oprócz wdrożenia, w pełni bezpiecznego w sensie technicznym systemu sterowania ruchem pociągów i eksploatacji pojazdów wielosystemowych, unifikacja infrastruktury kolejowej i utrzymanie odpowiedniego jej stanu. W sieci kolejowej PKP PLK S.A. problem ten uwidacznia się w stosunku do ciągów linii magistralnych, tworzących korytarze transportowe o znaczeniu międzynarodowym objętych umowami AGC i AGTC. Zwiększenie prędkości jazdy pociągów na tych liniach wymaga między innymi odpowiedniego dostosowania parametrów sieci trakcyjnej do trudniejszych warunków eksploatacyjnych, a jednocześnie zapewniających wysoki stopień niezawodności pracy urządzeń, wynikający z wypełniania zwiększonych zadań przewozowych. Z uwagi na to, że technologie stosowane przy budowie sieci trakcyjnej w ramach „wielkiej elektryfikacji linii kolejowych”, w latach 70. i 80. XX w., jakoś materiałów, rozwiązania techniczne oraz podstawowe parametry statyczne i dynamiczne sieci trakcyjnej nie gwarantowały odpowiedniego stopnia trwałości i niezawodności pracy urządzeń, ważnym zagadnieniem jest konieczności odtworzenia ich sprawności technicznej i dostosowanie parametrów do jazdy szybkich pociągów. Realizacja tego zadania wymaga stosowania w ramach modernizacji infrastruktury linii kolejowych – reelektryfikacji, nowych rozwiązań konstrukcyjnych, bardziej trwałych materiałów oraz nowych technologii budowy. Celem tych przedsięwzięć jest unifikacja rozwiązań technicznych w zakresie konstrukcji urządzeń sieci trakcyjnej, jak i współpracującego z nią odbieraka prądu.

Parametry sieci trakcyjnej do dużych prędkości jazdy, uwzględniające warunki dynamiczne współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną

Współpracujący z siecią jezdnią odbierak prądu stanowi mechaniczny układ drgający. Do analizy pracy tego układu konieczna jest znajomość parametrów dynamicznych sieci trakcyjnej istotnych z punktu widzenia oceny jakości współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią. W dalszej części rozdziału przedstawiono podstawowe parametry sieci jezdnych uznawane za istotne z punktu widzenia dostosowania jej parametrów do eksploatacji przy dużych prędkościach jazdy pociągów.

Elastyczność sieci jezdnej

Elastyczność sieci jest to iloraz uniesienia przewodu (przewodów) jezdnych do siły nacisku statycznego odbieraka [5] i wyraża się wzorem:

$$e = \frac{\Delta h}{P} \quad (1)$$

gdzie:

Δh – uniesienie przewodu jezdnych [mm],

P – siła nacisku statycznego [N].

W praktyce wielkość ta określana jest wzdłuż długości przęsła zawieszenia przy przyjęciu siły nacisku odbieraka prądu na poziomie 10 daN i przedstawia wartość uniesienia przewodów jezdnych odniesioną do jednostki siły wypierającej przewody (mierzona jest w mm/daN). Dla ograniczenia nadmiernego uniesienia przewodów jezdnych, powodowanego przez wzrost wartości siły stykowej między odbierakiem prądu a siecią jezdnią w warunkach dynamicznych przy wyższych prędkościach jazdy, elastyczność powinna przyjmować niskie wartości. W celu uzyskania możliwie prostoliniowej trajektorii ruchu odbieraka, niezbędne jest wyrównanie elastyczności sieci wzdłuż przęsła. Obniżenie elastyczności sieci można uzyskać w dwojaki sposób:

- 1) poprzez zwiększenie sił naciągu przewodów jezdnych i lin nośnych w miarę możliwości istniejącego zapasu wytrzymałości materiału;
- 2) poprzez skracanie długości przęseł zawieszenia sieci do wielkości, które należy uznać za uzasadnione zarówno względami technicznymi, jak i ekonomicznymi.

W warunkach dynamicznej współpracy odbieraka z siecią trakcyjną, uwzględniając wymóg bezpieczeństwa ruchu dopuszcza się w polskich sieciach kolejowych możliwość uniesienia przewodu jezdnych w punkcie powieszenia, dla maksymalnej długości przęsła, w normalnych warunkach eksploatacyjnych, do 100 mm. Przekroczenie tej wartości uniesienia mogłoby spowodować kolizję odbieraka prądu z ramionami odciągowymi i/lub wysięgiem pomocniczym.

Współczynnik nierównomierności elastyczności

Współczynnik nierównomierności elastyczności określa się wzorem:

$$\Delta e_{\%} = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max} + e_{\min}} \quad (2)$$

gdzie:

e_{\max} – maksymalna wielkość elastyczności sieci dla analizowanych przęseł zawieszenia,

e_{\min} – minimalna wielkość elastyczności sieci dla analizowanych przęseł zawieszenia.

Im niższa wartość współczynnika nierównomierności elastyczności sieci, tym bardziej zbliżona do linii prostej jest trajektoria punktu styku odbieraka prądu z siecią jezdnią (płaski przebieg o małej amplitudzie), co korzystnie wpływa na jakość współpracy odbieraków prądu z siecią [5]. W celu poprawy warunków współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią należy dążyć do uzyskania równomiernej elastyczności sieci – w obrębie każdego z przęseł zawieszenia oraz w stosunku do poziomów elastyczności sieci w następujących po sobie przęsłach zawieszenia. Poprawę równomierności elastyczności sieci jezdnej można osiągnąć stosując następujące rozwiązania konstrukcyjne:

- zwiększając siły naciągu przewodów jezdnych;
- stosując podwieszenia uelastyczniające typu Y lub dodatkowe liny nośne tworzące w układzie scalonym podwieszenia typu Y (zastosowanie podwieszeń uelastyczniających pozwala na uzyskanie elastyczności w punktach wsporczych na poziomie

do 90% elastyczności sieci w środku przęsta zawieszenia, podczas gdy w rozwiązaniach pozbawionych tych podwieszeń, elastyczność sieci w punktach wsporczych wynosi zwykle 30–50% wartości elastyczności w środku przęsta);

- zastosowanie zwisu wstępnego, co umożliwia zbliżenie trajektorii ruchu ślizgacza do prostoliniowej we wstępnym okresie eksploatacji, jak i w okresie późniejszym ze względu na zużycie przewodu, co poprzez mniejszą masę jednostkową prowadzi do powstania zwisów „ujemnych”;
- ograniczanie długości przęseł zawieszenia;
- ograniczanie względnych różnic długości sąsiednich przęseł zawieszenia.

Prędkość rozchodzenia się fali zakłóceniewej VC

Prędkość rozchodzenia się fali zakłóceniewej stanowi dynamiczne kryterium oceny sieci trakcyjnej. Jest prędkością rozprzestrzeniania się wzdłuż sieci jezdnej impulsu mechanicznego, którego źródłem jest uniesienie przewodów trakcyjnych przez odbierak prądu pojazdu trakcyjnego. Prędkość ta jest określana na podstawie następującego wzoru [8]:

$$V_C = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{Z_{jd} + Z_{ts}}{m_{jd} + m_{ts}}} \quad (3)$$

gdzie:

- V_C – prędkość rozchodzenia się fali zaburzenia (prędkość rozchodzenia się impulsu) [m/s],
- Z_{jd}, Z_{ts} – sumaryczna siła naciągu przewodów jezdnych i sumaryczna siła naciągu lin nośnych [N],
- m_{jd}, m_{ts} – masa jednostkowa przewodów jezdnych, masa jednostkowa lin nośnych [g/m].

Decydujące do prawidłowej dynamicznej współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią jest spełnienie warunku:

$$V_{eksp} < 0,7 V_C \quad (4)$$

gdzie: V_{eksp} – eksploatacyjna prędkość pociągów [m/s].

W eksploatowanych sieciach trakcyjnych prędkość rozchodzenia się fali zaburzenia wynosi 400–500 km/h dla sieci prądu przemiennego oraz 350–420 km/h dla sieci prądu stałego. Są to prędkości znacznie przekraczające prędkość przemieszczania się źródła zakłóceń – odbieraka prądu.

Wzrost wartości prędkości rozchodzenia się fali zakłóceniewej w sieci jezdnej można uzyskać poprzez:

- zwiększenie sił naciągu przewodów trakcyjnych (przewodów jezdnych i/lub lin nośnych),
- zmniejszenie masy jednostkowej przewodów jezdnych i/lub lin nośnych.

Współczynnik Dopplera α

Współczynnik Dopplera określa relację między prędkością rozchodzenia się fali zaburzenia a eksploatacyjną prędkością pociągów i określany jest zależnością [4]:

$$\alpha = \frac{V_C - V_{eksp}}{V_C + V_{eksp}} \quad (5)$$

gdzie:

- V_C – prędkość rozchodzenia się fali zaburzenia w przewodzie jezdnym,
- V_{eksp} – eksploatacyjna prędkość pociągów.

Z punktu widzenia dynamiki współpracy odbierak prądu–sieć współczynnik Dopplera powinien mieć możliwie największą wartość. Wartość ta wzrasta wraz ze wzrostem prędkości rozchodzenia się fali zaburzenia, natomiast osiąga wartość równą zero, gdy prędkość jazdy osiągnie wartość rozchodzenia się fali w przewodzie jezdnym.

Prędkość krytyczna V_{kryt}

Prędkość krytyczna to prędkość jazdy, przy której częstotliwość ruchów pionowych odbieraka prądu jest równa częstotliwości drgań własnych sieci trakcyjnej. Inaczej mówiąc, zjawisko rezonansu drgań nastąpi w momencie, gdy czas przejazdu odbieraka prądu przez przęsto zrówna się z okresem drgań swobodnych sieci trakcyjnej. Prędkość krytyczną określa wzór:

$$V_{kryt} = 3,6 i_k \cdot l \sqrt{\frac{Z_{ts} + Z_{jd}}{m_{ts} + m_{jd}}} \quad (6)$$

gdzie:

- $i_k = 0,46$ przy zastosowaniu zawieszenia typu Y,
- $i_k = 0,50$ przy zastosowaniu podwieszenia bez linki uelastyczniającej,
- l = długość przęsta.

Przyjmuje się zasadę, że prędkość eksploatacyjna V_{eksp} powinna być mniejsza od prędkości krytycznej V_{kryt} o co najmniej 15%.

Współczynnik odbicia fali zakłóceniewej r

Współczynnik określa reakcję sieci jezdnej na oddziaływanie mechanicznej fali zakłóceniewej. Jego wartość obliczana jest na podstawie wzoru [4]:

$$r = \frac{\sqrt{Z_{ts} \cdot m_{ts}}}{\sqrt{Z_{ts} \cdot m_{ts}} + \sqrt{Z_{jd} \cdot m_{jd}}} \quad (7)$$

Mała wartość współczynnika odbicia fali zakłóceniewej decyduje o ograniczeniu ujemnego oddziaływania fali zakłóceniewej na współpracę odbieraków prądu z siecią jezdnią. Zmniejszenie wartości r osiąga się poprzez:

- zwiększenie sił naciągu przewodów jezdnych,
- zwiększenie masy jednostkowej przewodów jezdnych,
- zmniejszenie sił naciągu lin nośnych,
- zmniejszenie masy jednostkowej lin nośnych.

Dla dużych prędkości jazdy wartość współczynnika odbicia zawiera się w granicach $0,37 < r < 0,45$.

Współczynnik wzmocnienia fali zakłóceniewej γ

Współczynnik wyznaczany jest jako stosunek współczynnika odbicia do współczynnika Dopplera:

$$\gamma = \frac{r}{\alpha} \quad (8)$$

Współczynnik ten określa wpływ fali odbitej (odbitego impulsu zakłócającego) na jakość dynamicznej współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią. Wartość γ powinna być możliwie niska. Aby to osiągnąć należy ograniczyć wartość współczynnika odbicia r i/lub zwiększyć wartość współczynnika Dopplera α . W celu obniżenia wartości współczynnika wzmocnienia fali zakłócenio-wej należy zwiększyć siły naciągu przewodów jezdnych.

Podstawowe zależności między poszczególnymi parametrami i ich wpływ na jakość współpracy sieci jezdnej z odbierakami prądu

Na podstawie analizy zależności zdefiniowanych i opisanych można wnioskować, który z parametrów sieci trakcyjnej ma wpływ na wyliczone wielkości. Wynika z nich, że dla obniżenia dynamicznej reakcji sieci trakcyjnej współczynnik Dopplera α powinien być jak największy, co można osiągnąć przez zwiększenie prędkości rozchodzenia się fali zakłócenio-wej w przewodzie jezd-ny. To z kolei można osiągnąć przez zwiększenie naprężenia naciągu przewodów jezdnych. Wymaganie to przekłada się na stosowanie materiałów o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie, co z kolei wymusza interwencję metalurgiczną w tradycyjny ma-teriał stosowany na przewody jezdne, jakim jest miedź w gat. ETP [3, 9]. Zwiększenie sił naciągów przewodów jezdnych spowoduje jednocześnie zwiększenie naprężeń w ramionach odciągowych, elementach osprzętu związanych z ustaleniem odsuwu przewodów jezdnych oraz zwiększeniem momentów działających na konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej pochodzących od sił załomu. Z analizy zależności i parametrów dynamicznych wynika wniosek, że decydujący wpływ na ich wielkości ma poziom sił naciągów przewodów jezdnych. Zwiększenie tych sił prowadzi do polepszenia wszystkich znamionowych parametrów sieci trakcyjnej. Dlatego też potrzeba zwiększania sił naciągu przewodów jezdnych zo-stała potraktowana jako najbardziej istotny czynnik w procesie modernizacji sieci jezdnych na liniach PKP PLK S.A. [1].

Zwiększenie sił naciągu przewodów jezdnych prowadzi do poprawy warunków współpracy odbieraków prądu z siecią jezdnią poprzez [2]:

- zmniejszenie i wyrównanie elastyczności sieci wzdłuż przę-
sła,
- zmniejszenie nierównomierności elastyczności,
- zwiększenie prędkości rozchodzenia się fali zakłócenio-wej,
- zwiększenie wartości współczynnika Dopplera,
- zmniejszenie wartości współczynnika odbicia fali zakłócenio-
wej,

Podstawowe parametry dynamiczne dla konstrukcji wybranych sieci trakcyjnych

Parametr	Sieć trakcyjna kolei			
	włoskich FS440	włoskich FS610	francuskich TGV	niemieckich Re250
Współczynnik Dopplera (większy niż 0,15)	$\alpha_{200} = 0,30$ $\alpha_{250} = 0,21$	$\alpha_{200} = 0,30$ $\alpha_{250} = 0,21$	$\alpha_{200} = 0,38$ $\alpha_{250} = 0,27$	$\alpha_{200} = 0,36$ $\alpha_{250} = 0,26$
Prędkość rozchodzenia się fali zakłócenio-wej $V_C = (350-420)$, $V_C > 100$ m/s	380	380	441	425
Prędkość eksploatacyjna $V_{eksp} < 0,7 V_C$	250	250	270 dla 1,5 kV DC >300 dla 25 kV AC	250
Współczynnik odbicia fali zakłócenio-wej (0,37-0,45)	0,41	0,53	0,38	0,43
	$r = \frac{\sqrt{Z_{ls} \cdot m_{ls}}}{\sqrt{Z_{ls} \cdot m_{ls}} + \sqrt{Z_{fd} \cdot m_{fd}}}$			
Współczynnik wzmocnienia fali zakłócenio-wej (2,5-3)	$\gamma_{200} = 1,367$ $\gamma_{250} = 1,952$	$\gamma_{200} = 1,767$ $\gamma_{250} = 2,524$	$\gamma_{200} = 1,000$ $\gamma_{250} = 1,407$	$\gamma_{200} = 1,194$ $\gamma_{250} = 1,654$

- zmniejszenie wielkości współczynnika wzmocnienia fali zakłó-
ceniowej.

Zwiększenie sił naciągu lin nośnych prowadzi do:

- zmniejszenia elastyczności sieci;
- w przypadku, gdy jednocześnie nie następuje zwiększenie sił naciągu przewodów jezdnych – następuje pogorszenie warun-
ków eksploatacji sieci wskutek zwiększenia wartości współ-
czynnika odbicia fali zakłócenio-wej.

Dla sieci trakcyjnych przystosowanych do jazdy pociągów z dużymi prędkościami eksploatacyjnymi, parametry dynamiczne powinny osiągać wartości określone w tabelicy 1 [3].

Analiza sieci trakcyjnych dużych prędkości jazdy

Podstawowe parametry dynamiczne dla konstrukcji sieci trakcyj-nych przystosowanych do kursowania pociągów dużych prędko-ści stosowane w niektórych zarządach kolejowych przedstawiono w tabelicy 2 [4].

Analizując rozwiązania konstrukcyjne sieci trakcyjnych przy-
stosowanych do eksploatacji pociągów dużych prędkości kolei: francuskiej, włoskiej, niemieckiej, hiszpańskiej, brytyjskiej, ja-
pońskiej można określić podstawowe parametry charakterystycz-
ne. Są to [4]:

- naprężenie naciągu w przewodzie jezdny do 250 N/mm²,
- przekrój elektryczny sieci DC do 610 mm²,
- elastyczności sieci od 1 do 2,5 mm/daN,
- rozpiętości przęsła zawieszenia w granicach 54 do 65 m,
- wysokości zwieszenia przewodu jezdno-ego 5000-5500 mm,
- odsuw przewodu jezdno-ego – 200 mm,
- zwis wstępny przewodu jezdno-ego – 1/1000 długości przęsła,
- sieć przejść rozjazdowych bez powiązania mechanicznego z siecią torów głównych,
- elektryczne połączenie przewodów jezdnych i lin nośnych w każdym przęśle,

Tabela 1

Zakładane parametry dynamiczne dla dużych prędkości jazdy

Parametr charakterystyczny		Wartość
Współczynnik Dopplera	α	>0,15
Prędkość rozchodzenia się fali zakłócenio-wej	V_C	>100 m/s
Prędkość eksploatacyjna	V_{eksp}	<0,7 V_C
Współczynnik odbicia		0,37-0,45
Współczynnik wzmocnienia		2,5-3,0

Tabela 2

- stosowanie zawieszzeń grupowych i na szlaku na brankach,
- zmniejszanie odległości międzywieszakowych,
- stosowanie tłumików drgań,
- budowa sieci wielokrotnych.

Proponowane rozwiązania sieci YC150-2CS150 i YC120-2CS150

Sieć trakcyjna YC150-2CS150 i YC120-2CS150

– założenia

1. Sieć trakcyjna o łącznym przekroju elektrycznym powyżej 400 mm² Cu.
2. Sieć trakcyjna dostosowana do prędkości eksploatacyjnej dla taboru klasycznego do 160 km/h.
3. Maksymalna teoretyczna prędkość konstrukcyjna 250 km/h przy ograniczeniu długości przęsła.
4. Sieć dostosowana do prowadzenia ciężkich pociągów o dużym poborze prądu (ciągniki o mocy 6 MW).
5. Dwa przewody jezdne wykonane ze stopu miedzi CuAg0,10, które w stosunku do stosowanych przewodów miedzianych zapewnią zmniejszenie zużycia podczas eksploatacji i zmniejszenie

wrażliwości na przegrzanie. Pozwoli to na dłuższy okres eksploatacji i mniejszą awaryjność sieci.

6. Lina nośna 150 mm² lub 120 mm² Cu z miedzi twardej.

7. Przewody jezdne CuAg0,10 150 mm².

8. Ze względu na wymaganą prędkość i konieczność zapewnienia małej nierównomierności elastyczności został wybrany ustrój z pojedynczą liną nośną i dodatkową linką zawieszania uelastyczniającego Y.

9. Wieszaki 10 mm² Cu – linka elastyczna o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej,

10. Lina uelastyczniająca 35 mm² Cu.

11. Elementy łączące liny, przewody: zaciski, uchwyty równoległe z materiałów o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej i minimalnym ciężarze właściwym (minimalna masa elementu).

Parametry techniczne sieci z liną nośną C150 (YC150-2CS150) i C120 (YCS120-2CS150)

Podstawowe parametry techniczne sieci przedstawiono w tablicach 3 i 4.

Typowe przęsło przelotowe ma rozpiętość 65 m i odsuwy od osi toru po 0,30 m.


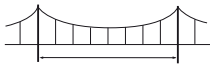

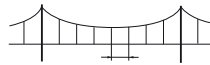
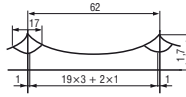
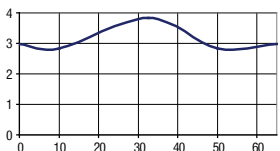
Tablica 3

Metryka sieci trakcyjnej YC150-2CS150

1	kV		Rodzaj napięcia	3000 V DC
2			Rodzaj zawieszania	uelastycznione
3	mm ²	a + b + c	Przekrój	C150 + Cu35 + 2CuS150
4	m		Rozpiętość	65
5	m		Długość zawieszania Y	2 × 8,5
6	m		Odległość między wieszakami	20 × 3 + 2 × 1
7			Konstrukcja: a – lina nośna b – przewody jezdne c – lina pomocnicza	
8	mm/daN	e	Elastyczność sieci	
9	kN	F _a	Naciąg w linie nośnej	19,070
10	kN	F _b	Naciąg w przewodach jezdnych	29,665
11	kN	F _c	Naciąg w linie pomocniczej	2,50
12	mm/daN	e _{max}	Elastyczność maksymalna	3,63
13	%		Położenie % rozpiętości	50
14	mm/daN	e _{min}	Elastyczność minimalna	2,56
15	%		Położenie % rozpiętości	15
16	mm/daN	(e _{max} + e _{min})/2	Średnia elastyczność	3,09
17	%	(e _{max} - e _{min})/(e _{max} + e _{min})	Współczynnik nierównomierności elastyczności	17,2
18	s	T	Okres drgań własnych	1,377
19	Hz	f	Częstotliwość drgań własnych	0,726
20	km/h	V _{krt}	Obliczeniowa prędkość krytyczna	179
21	cm		Zwis przewodu jezdneho	0
22	km/h	V _{inp} *	Obliczeniowa prędkość rozprzestrzeniania się impulsu	369

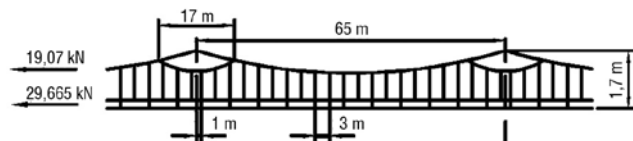
* Według opracowania ERRI A186 z 04 1996 .

Metryka sieci trakcyjnej YC120-2CS150

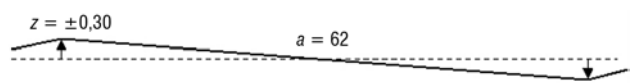
1	kV		Rodzaj napięcia	3000 V DC
2			Rodzaj zawieszenia	uelastycznione
3	mm ²	a + b + c	Przekrój	Cu120 + Cu35 + 2CuAg150
4	m		Rozpiętość	62
5	m		Długość zawieszenia Y	2 × 8,5
6	m		Odległość między wieszakami	19 × 3 + 2 × 1
7			Konstrukcja: a – lina nośna b – przewody jezdne c – lina pomocnicza	
8	mm/daN	e	Elastyczność sieci	
9	kN	F _a	Naciąg w linie nośnej	15,890
10	kN	F _b	Naciąg w przewodach jezdnych	29,660
11	kN	F _c	Naciąg w linie pomocniczej	2,50
12	mm/daN	e _{max}	Elastyczność maksymalna	3,83
13	%		Położenie % rozpiętości	50
14	mm/daN	e _{min}	Elastyczność minimalna	2,84
15	%		Położenie % rozpiętości	15
16	mm/daN	(e _{max} + e _{min})/2	Średnia elastyczność	3,3
17	%	(e _{max} - e _{min})/(e _{max} + e _{min})	Współczynnik nierównomierności elastyczności	15
18	s	T	Okres drgań własnych	1,378
19	Hz	f	Częstotliwość drgań własnych	0,726
20	km/h	V _{krt}	Obliczeniowa prędkość krytyczna	179,2
21	cm		Zwis przewodu jezdne	0
22	km/h	V _{imp} *	Obliczeniowa prędkość rozprzestrzeniania się impulsu	369

* Według opracowania ERRI A186 z 04.1996 r.

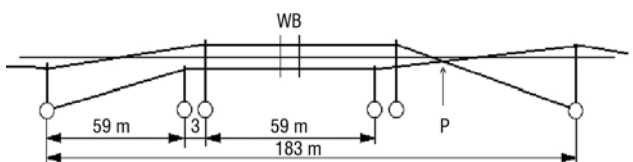
Częścią składową sieci, która ma istotny wpływ na jakość współpracy z odbierakiem, jest przęsto naprężenia. Jako typowe



Rys. 1. Przęsto przelotowe sieci YC150 – 2CS150



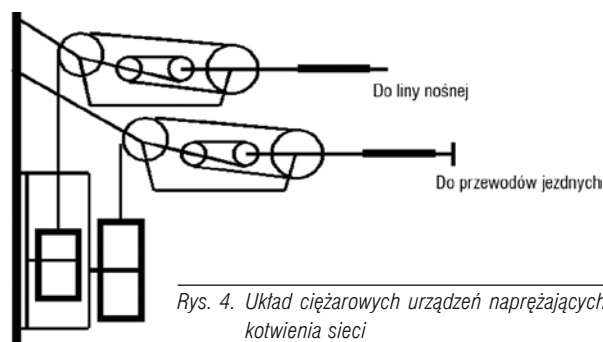
Rys. 2. Przęsto przelotowe na prostej sieci YC120-2CS150



Rys. 3. Sześciostupowe przęsto naprężenia na prostej

zostało zastosowane sześciostupowe przęsto wydłużone w obszarze zejścia do kotwienia.

W obszarze przepływu sieci P w przęsłach izolowanych wprowadzone zostaną dwa wieszaki izolacyjne. Pozwoli to na wyeliminowanie kłopotliwych izolatorów sekcyjnych pogarszające jakość współpracy odbieraka z siecią trakcyjną, utrudniające obsługę i konserwację sieci trakcyjnej. Rozwiązanie kotwień sieci trakcyjnej oparte jest o nowoczesny układ szeregowy przekładni rolkowej. Kotwienie przewodów jezdnych jest oddzielone od kotwienia liny nośnej.



Rys. 4. Układ ciężarowych urządzeń naprężających do kotwienia sieci

Sieć została zaprojektowana przez zespół specjalistów w Zakładzie Trakcji i Urządzeń Politechniki Warszawskiej i CBPB Kolprojekt. Prawie sześciokilometrowy odcinek doświadczalny tej sieci został zbudowany w 2005 r. na linii E20 w torze nr 2 na szlaku Żychlin – Stara Wieś przez firmę „PKP Energetyka” Spółka z o.o. Zakład w Słotwinach. Budowa sieci prowadzona była według najnowszych technologii, według której przewody (lina nośna i druty jezdne produkcji TF Kable SA, technologia Wydział Metali Nieżelaznych AGH [10]) wywieszane są pod nominalnym

naciągiem. Ma to szczególne znaczenie przy wywieszaniu zwłaszcza przewodów jezdnych.

Pierwsze doświadczenia eksploatacyjne i pomiary wykonane przez CNTK Warszawa w grudniu 2005 r. podczas odbiorów i w kwietniu 2006 r. są pozytywne i bardzo obiecujące. Na przewodach jezdnych brak jakichkolwiek falistych odkształceń powstałych w procesie nawijania na bębny, co ograniczy liczbę punktowych zużyć w okresie eksploatacji, a w aspekcie zwiększonej odporności miedzi srebrowej na ścieranie, wydłuży okres jego eksploataowania. Również osprzęt sieciowy wykonany jest z nowych materiałów [11], opracowanych przez zespół naukowy Katedry Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH oraz CNTK, wykonany przez Firmę Produkcyjną KUCA ze Szczecina, cechuje się bardzo dobrymi parametrami zarówno elektrycznymi, jak i mechanicznymi – potwierdzonymi badaniami i próbami laboratoryjnymi. Zakładany trzyletni okres badań i prób eksploatacyjnych powinien to potwierdzić.



Rys. 5. Przygotowania do demontażu kotwienia krańcowego likwidowanej sekcji, zakotwionej prowizorycznie przez inny pojazd w miejscu oznaczonym strzałką. W głębi widoczny skład dokonujący wstępnego demontażu sieci



Rys. 6. Wbijanie w podtorze za pomocą palownicy podkładów betonowych przeznaczonych do sadowienia na nich słupów trakcyjnych



Rys. 7. Proces wywieszania odcinka naprężenia - montowanie i podwieszenie kompletnego, krańcowego urządzenia naprężającego. Wpicie sieci i rozpoczęcie wywieszania, wpinanie liny nośnej i przewodów w uchwyty



Rys. 8. Rozwieszanie przewodów jezdnych i lin nośnych



Rys. 9. Pojazd służący do rozwieszania lin nośnych oraz przewodów jezdnych po ich naprężeniu



Rys. 11. Pojazd do wpinania liny nośnej i przewodów jezdnych w specjalne uchwyty konstrukcji wsporczej



Rys. 10. Kolejny etap montażu sieci jezdnej, wieszakowanie, czyli mocowanie przewodów jezdnych do liny nośnej, a następnie wykonanie uelastyczniania sieci, wykonanie połączeń elektrycznych i ostateczna regulacja



Rys. 12. Rozwieszona nowa sieć

Literatura

- [1] Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji linii CMK do prędkości jazdy 200/250 km/h. CNTK. Warszawa, marzec 2002 r.
- [2] Kaniewski M.: Badanie sieci trakcyjnej typu 2C120-2C-3 przy prędkości jazdy 250 km/h. Temat 3046/12. CNTK. Warszawa, grudzień 2002 r.

Dokończenie na s. 78 ➤

- [26] *Spurkaranzschmierung für Schienenfahrzeuge*. Materiały firmy Rebs.
- [27] *Dokumentacja techniczno-ruchowa – kolejowe projektory małogabarytowe KPM-24H, KPM-24C dla trakcyjnych pojazdów szynowych*. Materiały firmy Posteor Wrocław.
- [28] *Ultradźwiękowe urządzenie pomiaru paliwa UUPP-1*. Materiały firmy Perpetuum.
- [29] *Dokumentacja techniczno-ruchowa elektrycznych wycieraczek szyb*. Materiały firmy Posteor Wrocław.
- [30] *Instrukcja eksploatacji urządzeń układu oczyszczania powietrza*. Materiały firmy OAO „Kołomskij Zawod”.

Autor
dr inż. Zygmunt Marciniak
Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”- Poznań

➤ *Dokończenie ze s. 63*

- [3] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Biuro Energetyki. Materiały źródłowe biura energetyki z prowadzonych statystyk i analiz w zakresie utrzymania sieci trakcyjnej.
- [4] Banek A., Kaniewski M.: *Badanie sieci trakcyjnej CMK dla wprowadzenia prędkości 160 km/h*. CNTK. Warszawa luty 1977.
- [5] Roman Z.: *Symulacja współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2001.
- [6] Kaniewski M., Maciołek T.: *Sieci dużych prędkości jazdy na PKP*. MET Warszawa 2003.
- [7] *Wytyczne projektowania i warunki odbioru sieci trakcyjnej z uwzględnieniem standardów i wymagań linii interoperacyjnych*. CBPBBK „Kolprojekt”, Warszawa 2006.
- [8] Głowacki K., Onderka E.: *Sieci trakcyjne*.
- [9] Kawecki A.: *Dobór cech materiałowych przewodów jezdnych przeznaczonych do szybkich pojazdów szynowych*. Praca doktorska AGH 2006.
- [10] *Opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania z miedzi stopowej przewodzących elementów górnej sieci trakcyjnej o znamionowej obciążalności prądowej powyżej 2,5 kA i podwyższonej wytrzymałości mechanicznej*. Projekt celowy AGH/TF Kable SA.
- [11] *Opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania nowej generacji nośno-przewodzącego osprzętu do wysokoobciążalnych trakcji kolejowych*. Projekt celowy AGH/FP Kuca.

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
- EDI, e-logistyka
- Komputerowe wspomaganie logistyki (CAL)
- Magazynowanie
- Opakowalnictwo
- Systemy transportu wewnętrznego
- Ekologistyka

Komitet organizacyjny

III Forum Logistyki i Technologii Logistycznych WROLOG - 2007

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska, 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