

# Problemy i sposoby pomiaru geometrii sieci trakcyjnej

Michał GŁOWACZ<sup>1</sup>

## Streszczenie

W artykule opisano metodę pomiaru statycznej geometrii sieci trakcyjnej za pomocą ręcznego wózka pomiarowego. Oceniono skuteczność i efektywność metody pomiarowej na podstawie dotychczasowych doświadczeń praktycznych. Opisano znaczenie mierzonych parametrów prawidłowej eksploatacji sieci trakcyjnej.

**Słowa kluczowe:** wózek, przyrząd pomiarowy, przewód jezdny, odsuw, wysokość, odległość

## 1. Wprowadzenie

Działania podejmowane przez Zakład Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa [2, 3] dotyczące procedury oceny składnika interoperacyjności „sieć trakcyjna” w ramach podsystemu „Energia”, dokonywanej przy certyfikacji zrewitalizowanych lub zmodernizowanych odcinków linii kolejowych wiązały się z potrzebą opracowania niezawodnych metod pomiarowych.

Zgodnie z Rozporządzeniem Komisji nr 1301/2014 [4] oraz wcześniejszym odpowiednikiem nr 274/2011, procedura oceny składnika interoperacyjności „sieć trakcyjna” powinna być przeprowadzona w trzech etapach:

- 1) ocena na etapie projektu budowlanego,
- 2) pomiar geometrii sieci w warunkach statycznych,
- 3) ocena współpracy pantografu z badaną siecią jezdnią w warunkach dynamicznych.

## 2. Znaczenie geometrii sieci jezdnej

Prawidłowa geometria sieci jezdnej ma kluczowy wpływ na jakość odbioru prądu i ciągłość przekazywania energii do pojazdu trakcyjnego. Od jakości tej współpracy zależą niezawodność pracy i koszty utrzymania sieci trakcyjnej. Te aspekty są bardzo istotne ze względu na to, że jest to jedyny element obwodu zasilania, który nie jest rezerwowany, a koszt wykonania jego głównych elementów jest zawsze wysoki ze względu na stosowane materiały, a zwłaszcza miedzi, która jak dotąd jest niezastąpionym materiałem używanym w konstrukcji sieci jezdnej. Ponadto, od jakości współpracy pantografu z siecią jezdnią pośrednio zależy bezpieczeństwo obsługi, pasażerów i osób postronnych,

gdyż ryzyko porażenia prądem w przypadku wystąpienia awarii sieci trakcyjnej jest zawsze zwiększone.

Z punktu widzenia przewoźnika, zła jakość odbioru prądu zwiększa koszt wymiany nakładek stykowych pantografów, gdyż przebiegi pojazdów pomiędzy okresami wymiany nakładek skracają się. Sieć jezdna o źle utrzymanej geometrii zwiększa także ryzyko uszkodzenia pozostałych elementów pantografów, a każda spowodowana tym awaria negatywnie odbija się na jakości oferty przewozowej postrzeganej przez klientów przewoźnika.

Geometria sieci jezdnej jest ważnym parametrem interoperacyjności [4]. Między innymi, w bieżącej eksploatacji wymaga się zachowania zadeklarowanej przez zarządcę infrastruktury wielkości odsuwu przewodu jezdnego, z uwzględnieniem długości ślizgaczy odbieraków prądu pojazdów wpuszczanych na daną linię. Ze względu na inne, liczne czynniki ograniczające, takie jak odmierne systemy srk, szerokość toru i systemy zasilania, przejazd przez granice pojazdów trakcyjnych bez zmiany pantografu ma ograniczony zakres i występuje głównie między Polską i Czechami. Praktykowana jest jednak eksploatacja taboru zagranicznych przewoźników, po uprzednim dostosowaniu do zadeklarowanych wymagań polskiej sieci kolejowej i dlatego spełnienie wymaganych parametrów interoperacyjności ma wymierne znaczenie również w naszym kraju.

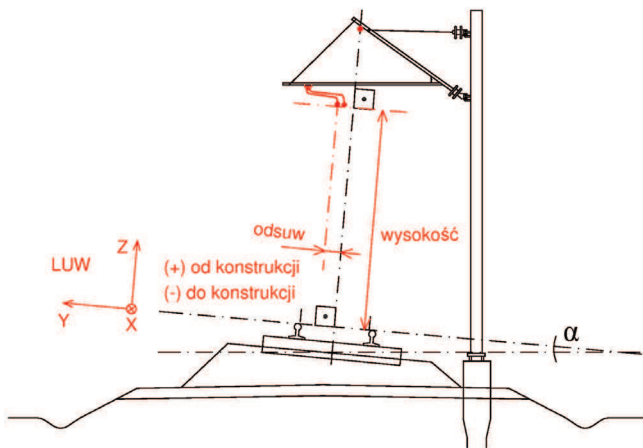
## 3. Mierzone parametry

Dokonywanie pomiaru geometrii sieci w warunkach statycznych wymaga zdefiniowania głównych parametrów geometrii sieci w lokalnym, kartezjańskim układzie współ-

<sup>1</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki; e-mail: mglowacz@ikolej.pl.

rzędnych (LUW, rys. 1) przyjętym dla kolei i często stosowanym w dokumentacji projektowej:

- odległość przebyta (oś  $x$ ),
- odsuw skrajnego przewodu jezdного od osi toru (oś  $y$ ),
- wysokość przewodu jezdного powyżej płaszczyzny główki szyny (oś  $z$ ).



Rys. 1. Definicja wysokości odsuwu skrajnego przewodu jezdного dla uogólnionego przypadku [rys. P. Stypułkowski]

### 3.1. Odległość przebyta

Odległość przebyta jest parametrem pomocniczym, służącym do ustalenia rzeczywistego adresu dla wielkości  $y$  i  $z$ . Dopiero różnica  $x_i - x_{n-1}$  służy do obliczenia parametru rzeczywistej długości przęsła, mierzonej wzdłuż osi toru (a więc niekoniecznie w linii prostej, zgodnie z profilem poziomym i pionowym toru). Jednocześnie dokonuje się odczytu numerów konstrukcji naniesionych na każdą z nich i zapisuje jako wartość adresu. Tak wykonany pomiar pozwala m.in. na sprawdzenie, czy rzeczywiste długości wybudowanych przęseł są zgodne z długościami przewidzianymi w projekcie oraz czy nie przekraczają dozwolonych wartości ze względu na wywianie wiatrowe. Zgodnie z zasadą wykonywania pikietażu i kilometracji linii kolejowych (Instrukcja D 19) oś  $x$ , po której należy odmierzać przebytą odległość, powinna przebiegać wzdłuż osi toru na szlaku jednotorowym oraz wzdłuż osi międzytorza na szlaku dwutorowym. Ze względu na niewielką wymaganą dokładność pomiaru długości przęseł (1 m) pomiar odległości przebytej wykonuje się na jednym z toków szynowych. W razie potrzeby istnieje jednak możliwość przeliczenia otrzymanych długości do wymaganej osi odniesienia.

### 3.2. Odsuw skrajnego przewodu jezdного

Odsuw przewodu jezdного przyjęło się podawać:

- pod każdą konstrukcją z ramionami odciągowymi (ustalającymi odsuw przewodów) leżącymi w obszarze styku z pantografem (tzw. słupy krzyżowe w przęsłach naprężania, słupy krańcowe ustawione za końcem toru są tym samym wyłączone),

- mierząc prostopadle do powierzchni tocznej szyn (rys. 1) od środka geometrycznego przewodu,
- dla skrajnego przewodu jezdного (jeśli w sieci występują dwa), to jest tego bardziej odciąganego przez ramiona odciągowe od osi toru,
- ze znakiem (+) dla kierunku od strony toru, przy którym zasadniczo są ustawione konstrukcje wsporcze dla tego toru na szlaku (dla pojedynczych konstrukcji stojących po innej stronie, np. na stacjach w rejonie rozjazdów, nie zmienia się kierunku odniesienia) oraz ze znakiem przeciwnym dla kierunku przeciwnego.

Istnieje możliwość sprawdzenia odsuwu pomiędzy konstrukcjami wsporczymi, np. pośrodku przejścia rozjazdowego lub w ostatnim punkcie bieżni pantografu na torze zakończonym kozłem oporowym lub wskaźnikiem We 4.

### 3.3. Wysokość przewodu jezdного

Wysokość przewodu jezdного przyjęło się podawać na zasadach analogicznych, co odsuw. Wysokość przewodu jezdного mierzy się od jego dolnej powierzchni względem powierzchni tocznej główki szyn, również prostopadle do tej powierzchni. Ze względu na stałość punktu odniesienia, pomiar odległości jest możliwy z relatywnie dużą dokładnością do 1 mm. Istnieje także możliwość wykonywania pomiaru wysokości obiektów innych niż przewód jezdny, jak. np. wysokość liny nośnej oraz elementów konstrukcji obiektu inżynierskiego nad torem, w celu sprawdzenia zachowania wymaganej odległości izolacyjnej.

W warunkach polskiej infrastruktury tangens kąta  $\alpha$  zaznaczonego na rysunku 1 przyjmuje wartości od 0 do  $\pm 150/1435$ , co odpowiada wartościom przechyłki na łuku lub na krzywej przejściowej 0–150 mm. Wartość tego kąta nie wpływa na definicję opisanych parametrów ani na sposób ich pomiaru. Sprawdzenie opisanych parametrów jest wymagane przez TSI podsystemu „Energia”.

## 4. Wózek pomiarowy

### 4.1. Ogólny opis konstrukcji

W celu sprawnego wykonywania statycznego pomiaru geometrii sieci jezdnej, Zakład Elektroenergetyki IK opracował i wykonał konstrukcję ręcznego wózka pomiarowego, przedstawionego na rysunku 2.

Wózek składa się z konstrukcji z zamkniętych profili aluminiowych opartych na czterech kółkach z obrzeżami, zestawu czujników pomiarowych oraz wyposażenia pomocniczego. Konstrukcja wózka zapewnia sztywność prowadzenia w torze o nominalnej szerokości 1435 mm z odchyłkami rzędu kilku centymetrów, zależnymi od rzeczywistego rozstawu szyn. Stałość geometrii głównego prostokąta ramy zapewniają ciągi stalowe o naciągu regulowanym za pomocą śrub rzymskich. Układ biegowy wózka zaprojektowano

wano z następującymi założeniami konstrukcyjnymi:

- obojętność na urządzenia kontroli niezajętości toru (wózek nie może zwierać toków szynowych, ani wzbudzać magnetoindukcyjnych liczników osi),
- zachowanie możliwie dużej dokładności pomiarowej (tendencja dośrodkowania wózka w torze podczas jazdy, jednopunktowa współpraca koła z szyną),
- dopasowanie do odchyłek rozstawu szyn na badanych odcinkach (poszerzenia toru w łukach, zużycie eksploatacyjne toru, niedokładności montażowe),
- zminimalizowanie oporów toczenia,
- możliwość płynnego niezakłóconego przejazdu przez krzyżownice rozjazdowe,
- niezawodność i trwałość (odporność kół na ścieranie, odporność na wibracje podczas transportu) podczas eksploatacji z prędkościami do 15 km/h w stanie obciążonym,
- możliwie mała masa i rozmiary (ze względu na ograniczenia transportowe),
- możliwie duże tłumienie drgań i hałasu powstałego od toczenia kół po szynach (bezpieczeństwo i ergonomia pracy pracowników na torze).



Rys. 2. Widok ogólny wózka pomiarowego [fot. M. Głowacz]

W celu realizacji wymienionych założeń, zdecydowano się na oparcie ramy wózka na czterech kółkach wytoczonych z izolującego i odpornego na ścieranie poliamidu PA 6G. Średnicę obwodu tocznego kół ustalono na 120 mm, co jest wystarczające ze względu na ograniczone naciski i niewielką prędkość. Obrys zewnętrzny koła zaprojektowano z wykorzystaniem narzędzi CAD zgodnie z profilem S1002/h28/e32,5/6,7% według normy EN 13715 [1]. Wobec braku istniejących wymagań dla zestawów kołowych na tor normalny o średnicy mniejszej niż 330 mm, profil ten wybrano na zasadzie przyjęcia „dobrej praktyki” jako dopuszczony do stosowania w taborze kolejowym kursującym po sieci PKP PLK S.A. i zgodny z TSI „Tabor” [5]. Szerokość obręczy wynosi 140 mm, co zapewnia płynny przejazd przez punkt nieciągłości w krzyżownicach rozjazdów pomimo

bardzo małej średnicy. Odległość pomiędzy wewnętrznymi powierzchniami obręczy kół wynosi zgodnie z normą [4] 1360 mm i jest regulowana w zakresie  $\pm 10$  mm.

#### 4.2. Funkcja pomiaru wysokości i odsuwu

Górna poprzecznicą ramy wózka jest wyposażona w dwie prowadnice dla głowicy pomiarowej oraz w podziałkę centymetrową służącą do pomiaru odsuwu. Głowica pomiarowa jest wyposażona w mocowanie dalmierza laserowego pełniącego dwojaką funkcję: bezpośredniego pomiaru wysokości przewodu jezdniego (z uwzględnieniem wysokości przyrządu nad powierzchnią głowki szyny) oraz pośredniego wskaźnika optycznego do pomiaru odsuwu wybranego przewodu za pomocą głowicy pomiarowej z okienkiem, przesuwanej ręcznie nad podziałką centymetrową.

Podziałka ta charakteryzuje się symetrią względem środkowej wartości „0” i nie zawiera liczb ujemnych ze względu na odmienne znaczenie znaku  $+/-$  opisane w rozdziale 2. Odróżnienie strony lewej i prawej jest zapewnione za pomocą koloru (odpowiednio: czerwony i zielony). Podziałka głowicy pomiarowej jest podświetlona diodami LED zasilanymi z małego akumulatora 12 V przypiętego do głowicy. Niepewność pomiaru odsuwu wynosi  $\pm 1$  cm, a zachowanie jej wymaga dokładnego zamocowania dalmierza laserowego na głowicy pomiarowej i precyzyjne ustawienie kąta odchylenia od pionu na  $0^\circ$ . Głowica pomiarowa ma funkcję blokowania przesuwu na czas transportu, co minimalizuje wpływ drgań na stan przyrządu.

#### 4.3. Funkcja pomiaru odległości przebytej

Funkcja pomiaru odległości przebytej na lewym toku szynowym (patrzac w kierunku wykonywania pomiaru) jest realizowana przez elektroniczny drogomiernik kołowy. Koło tego drogomiernika toczy się po szynie i jest prowadzone przez przegubowe ramię umocowane do ramy wózka. Ramię ma długość pozwalającą na prowadzenie osi koła pomiarowego możliwie blisko osi kół jezdnych. Jest to istotne do zapewnienia odpowiedniej pozycji koła pomiarowego także podczas przechodzenia wózka przez łuki. Pryczepność koła pomiarowego do szyny jest zapewniona przez masę własną koła oraz pokrycie obwodu koła tworzywem gumowym. Choć typ drogomiernika elektronicznego i jego klasa dokładności pozwalają na więcej, to odległość drogi przebytej jest rejestrowana przez zespół pomiarowy dla każdego przęsła sieciowego z dokładnością do 1 m, co uznaje się za wystarczające.

#### 4.4. Oświetlenie

W celu zapewnienia zespołowi pchającemu wózek podstawowej widoczności, zastosowano oświetlenie przednie za pomocą taśmy LED. Charakterystyka dobranych akumulatorów zasilających zapewnia minimum 5 godzin pracy na każdym z akumulatorów przy temperaturze otoczenia  $0^\circ\text{C}$ . Baterie akumulatorów są wyposażone w dodatkowy prze-

wód połączenia szeregowego w celu umożliwienia szybkiego ładowania zasilaczem 24 V.

#### 4.5. Praktyka pomiaru i doświadczenia eksploatacyjne

W normalnym trybie wózek może być obsługiwany przez jedną lub dwie osoby bez konieczności schylania się. Praktyka zdobyta podczas kilkunastu procesów oceny sieci trakcyjnej pokazała, że miarodajna prędkość wykonywania pomiaru wynosi od 2,5 do 3,3 km/h. Dane pomiarowe w postaci ręcznych notatek są zbierane w tablicy, jednak Zakład Elektroenergetyki (EK) rozważa dalsze usprawnienia, które umożliwią automatyczny zapis danych do pliku. W wyniku obróbki otrzymanych danych w laboratorium EK, są obliczane również wartości parametrów, takich jak pochylenie i zmiana pochylenia przewodu jezdnego, pozwalające na ocenę geometrii sieci stosownie do jej prędkości projektowej.

Próbkę efektu wynikowego pomiaru wykonanego za pomocą wózka przedstawiono w tablicy 1. W kolumnach 2, 3 i 4 znajdują się odnotowane wartości parametrów opisanych w rozdziale 2. Kolumny 4–8 przedstawiają wielkości pochodne, obliczone na etapie obróbki zebranych danych. Kolorem czerwonym wyróżniono negatywne wyniki i spostrzeżenia.

#### 5. Podsumowanie

Wózek pomiarowy opracowany przez Zakład Elektroenergetyki Instytutu Kolejnictwa umożliwia sprawny po-

miar w warunkach statycznych podstawowych parametrów geometrycznych sieci trakcyjnej z wydajnością do 15 km w ciągu doby. Ze względu na prostotę wózka i łatwość transportu, koszt wykonania pomiarów za jego pomocą nie jest wysoki.

#### Bibliografia

1. PN-EN 13715+A1:2011 (wersja angielska): Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Koła – Zewnętrzne zarysy wieńców kół.
2. Procedura nr PB-EK-ST01 – Badania geometrii sieci trakcyjnej.
3. Procedura nr PB-EK-ST01B – Sposób prowadzenia pomiarów geometrii sieci trakcyjnej za pomocą wózka pomiarowego.
4. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1301/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” systemu kolei w Unii. Dz.Urz. UE, L356.
5. 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. Dz.Urz. UE, L 356.
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych. Dz.U. 2014, poz. 720.

Tablica 1

Zestawienie przykładowych danych pomiarowych

Nr lok.	Droga według pomiaru [m]	Wysokość Hn [m]	Odsuw [cm]	Różnica wysokości Hn – Hn+1 [m]	Rozpiętość przęsła (według pomiaru) [m]	Pochylenie [‰]	Zmiana pochylenia [‰]	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6–38	6 203	5,376	28	–0,238	60,0	–3,97	3,64	semafor 068 nieuszyniony
6–40	6 243	5,283	–30	–0,093	40,0	–2,33	1,64	
6–42	6 307	5,208	36	–0,075	64,0	–1,17	1,15	Wiadukt drogowy
6–44	6 379	5,256	–23	0,048	72,0	0,67	1,84	(km. 6,990)
7–2	6 416	5,222	26	–0,034	37,0	–0,92	1,59	H_liny: 5,432
7–4	6 465	5,347	26	0,125	49,0	2,55	3,47	H_obiektu: 6,304
7–6	6 525	5,551	15	0,204	60,0	3,40	0,85	
7–8	6 562	5,513	34	–0,038	37,0	–1,03	4,43	26 cięż.
7–14	6 649	5,520	–29	0,007	87,0	0,08	1,11	26 cięż.