

Marek Kaniewski, Małgorzata Kucińska

Odchylenie poprzeczne przewodu jezdnego sieci trakcyjnej na prostej w procesie certyfikacji

Podstawowym dokumentem dla procesu certyfikacji sieci trakcyjnej jest Rozporządzenie 1301/2014 UE dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia”. Rozporządzenie weszło w życie w UE z dniem 1 stycznia 2015 r. Od dnia 1 stycznia 2016 r. nowo wyprodukowane odcinki sieci trakcyjnej powinny być objęte deklaracją UE o zgodności z wymaganiami lub przydatności do stosowania. Nowy dokument dotyczy zasadniczo sieci trakcyjnej, jednak są w nim odniesienia do Rozporządzenia 1302/2014 UE w przypadku badania nowego typu pantografu lub nowego typu pojazdu szynowego. Jednostki oceniające (NoBo) mają prawie trzyletnie doświadczenia w posługiwaniu się tym dokumentem, w interpretacji zapisów, w ocenie jasności sformułowań. W artykule opisano doświadczenia autorów w ocenie odchylenia poprzecznego przewodu jezdnej.

Słowa kluczowe: ocena TSI „Energia”, pantograf, odchylenie poprzeczne sieci trakcyjnej.

Odchylenie poprzeczne przewodu jezdnej jest obliczane na poziomie projektowania sieci trakcyjnej i oceniane w procesie certyfikacji danego odcinka sieci trakcyjnej. Sposób wyliczenia tej wielkości ma istotne znaczenie. Błędne wyliczenie odchylenia wiatrowego może wywołać kolizję pantografu z siecią trakcyjną, co z pewnością spowoduje ograniczenia w ruchu kolejowym. Wartość odchylenia poprzecznego decyduje również o maksymalnej

długości przęsła danego typu sieci, co z kolei przekłada się na koszty projektu. Asekuracyjne zaprojektowanie większej ilości konstrukcji wsporczych niż wymaga tego racjonalne postępowanie powoduje zwiększenie kosztów inwestycji.

Wartość odchylenia poprzecznego zależy od: składowej prostopadłej siły parcia wiatru na przewody (liny nośne, przewody jezdne, wieszaki), odległości między konstrukcjami wsporczymi, powierzchni przewodów, którą tworzy sieć jezdna (przekroje użytych lin, linek i przewodów pojedynczych) i wartości naciągów przewodów.

W Polsce Wytuczne projektowania let-107 [8] określają sposób obliczenia obciążenia wiatrowego. W punkcie 4 załącznika 3 podano, że parcie wiatru w na przewód wyraża się wzorem (1):

$$w = C \cdot K \cdot p \cdot A \quad (1)$$

gdzie:

C – współczynnik nierównomierności parcia wiatru;

K – współczynnik opływu;

p – podstawowe obciążenie wiatrowe (zależy od regionu Polski, wartość obliczamy na podstawie danych [3]);

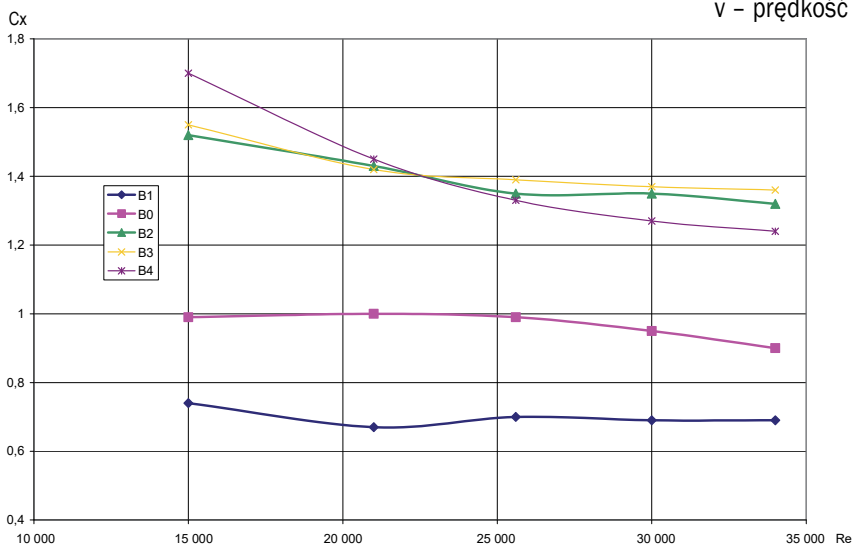
A – rzut powierzchni lin i przewodu/przewodów od strony nawietrznej na płaszczyznę prostopadłą do kierunku wiatru.

Natomiast podstawowe obciążenie wiatrowe p obliczymy z zależności (2):

$$p = \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 0,613 \cdot v^2 \quad (2)$$

gdzie:

v – prędkość wiatru [m/s].



Rys. 1. Zależność współczynnika oporu powietrza dwóch przewodów Dj_p100 znajdujących się w odległości B0 = 0 mm, B1 = 24 mm, B2 = 48 mm, B3 = 72 mm, B4 = 96 mm mierzonych między osiami przewodów od liczby Reynolda, wyrażającego to stosunek gęstości płynu, prędkości charakterystycznej płynu, wymiaru charakterystycznego do lepkości dynamicznej płynu. W praktyce wielkość liczby Reynolda pozwala na określenie, kiedy ruch płynu jest laminarny, a kiedy może pojawić się turbulencja [10]

W literaturze rosyjskiej powoływany jest wzór $p = v^2/16$ i wówczas wynik jest wyrażony w kg/m². Dla sieci trakcyjnej przyjmuje się wartość współczynnika C = 0,8. Współczynnik K przybiera wartości od 1,16 (dla jednego przewodu jezdnej) do 1,76 dla dwóch przewodów jezdnych z uwzględnieniem parcia wiatru na wieszaki.

Iloczyn współczynników C i K określany jest w badaniach aerodynamicznych jako współczynnik oporu powietrza C_x. Zależy on od kształtu danego obiektu oraz gładkości jego powierzchni. Współczynnik C_x określa się doświadczalnie w tunelu aerodynamicznym. Takie badania przeprowadzono na zlecenie COBiRTK na Wydziale MEiL Politechniki Warszawskiej [10]. Wartość współczynnika C_x dla układu dwóch przewodów jezdnych o różnych odległościach między sobą pokazano na rys. 1.

Najmniejszy opór powietrza stawia para przewodów znajdujących się w odległości 24 mm (odległość mierzona między osiami). Układ dwóch przewodów stosowany w Polsce (80 mm między osiami przewodów) jest jednym z najmniej korzystnych.

Otrzymana podczas prób wartość współczynnika oporu powietrza C_x jest większa od iloczynu $C \cdot K$ podanego w normie PN-E-05100-1:1998 [7] o 6% dla przewodu jezdnygo i 12% dla lin nośnych. Wartość współczynnika C_x nie jest stała, zmienia się z prędkością wiatru. I tak dla układu dwóch przewodów jezdnych, znajdujących się w odległości 72 mm od siebie, przy prędkości 17,8 m/s wynosi 1,55, a przy prędkości 35,7 i 40,0 m/s wynosi 1,38.

Zgodnie z normą PN-E-05100 1:1998 [7] na terenie Polski są 3 strefy wiatrowe. Strefa I obejmuje tereny nizinne na przeważającej części Polski. W tej strefie do obliczeń przyjmuje się prędkość wiatru $v = 29,6$ m/s, w strefie II (nadmorskiej – północne Bałtyku) i III (górska – Karpaty i Sudety) przyjmuje się prędkość równą $v = 32,3$ m/s.

W opracowaniu [10] podano, że w latach 1961–1975 maksymalne prędkości wiatru w porywach wynosiły do 40 m/s i to w I strefie wiatrowej. Wiatry te występowały na terenie pomiędzy Grudziądzem i Gdańskiem. W dniu 20.10.1986 r., kiedy wystąpiła bardzo duża liczba uszkodzeń sieci trakcyjnej w Polsce z powodu wywiania, maksymalne parcie wiatru wynosiło 38 m/s i występowało w pobliżu miasta Łódź. Obszar, w którym występowały uszkodzenia sieci i w którym prędkość wiatru była większa od 30 m/s, obejmował miasta Szczecin, Poznań, Warszawę, Łódź, Wrocław, wraz z ich otoczeniem. W 2018 r. na Kasprowym Wierchu zarejestrowano w porywach prędkość wiatru równą 75 m/s.

W literaturze niemieckiej [9] podany jest wzór (3) na parcie wiatru (F'_w):

$$F'_w = C_w \cdot \gamma \cdot v^2 \cdot D \quad (3)$$

gdzie:

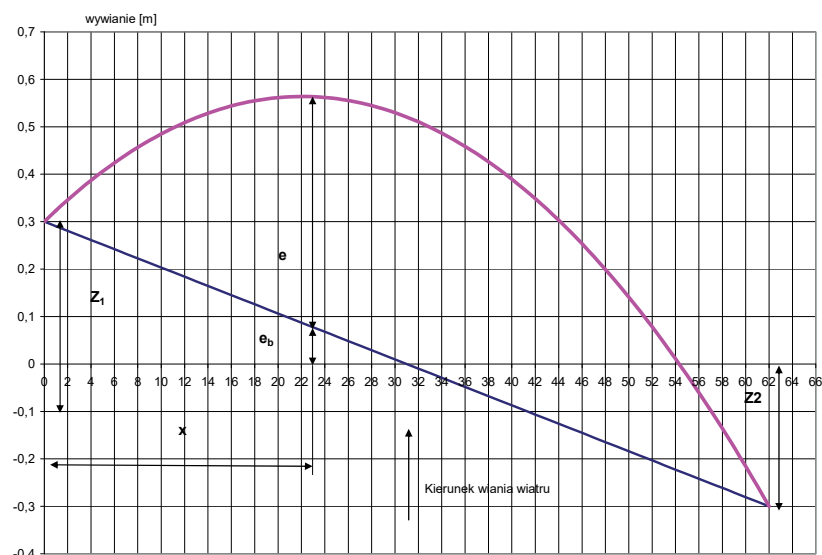
współczynnik C_w zależy od średnicy przewodu i wynosi od 1,0 do 1,2;

γ – gęstość powietrza;

v – prędkość wiatru;

D – średnica przewodu jezdnygo lub linii nośnej.

Odchylenie poprzeczne na prostym odcinku toru można przedstawić jak pokazano na rys. 2 i opisać wzorami (3) i (7). Taki



Rys. 2. Odchylenie poprzeczne przewodów jezdnych sieci YwSC120-2C spowodowane wiatrem, na prostej z odsuwem $Z_1 = Z_2 = 0,3$ m, średnia 10 min, prędkość wiatru = 26 m/s
Źródło: oprac. własne M. Kaniewski.

sam kształt przewodu ukształtowanego przez wiatr zamieszczono w opracowaniu [4]. Dla jednego przewodu zawieszzonego na konstrukcjach wsporczych odchylenie poprzeczne można obliczyć ze wzoru (4):

$$e_w = \frac{F'_w \cdot x \cdot (L - x)}{2H} \quad (4)$$

gdzie:

L – długość przęsła;

H – naciąg w przewodzie jezdny;

x – patrz rys. 2.

Przy różnych odsuwach przewodu jezdnygo Z_1 i Z_2 pod konstrukcjami wsporczymi, na prostej w warunkach bezwietrznych, położenie e_b przewodu jezdnygo można policzyć ze wzoru (5):

$$e_b = \frac{(Z_1 - Z_2) \cdot (L - x)}{L + Z_2} \quad (5)$$

Na ostateczny kształt i wartość przemieszczenia bocznego przewodu jezdnygo (6) podczas działania wiatru mają wpływ cztery czynniki: odsuw przewodu jezdnygo wynikający ze sposobu wywieszania przewodu jezdnygo (zygzakowanie), wartość naciągu w przewodzie lub linii i parcia wiatru o wartości określonej wzorem (3):

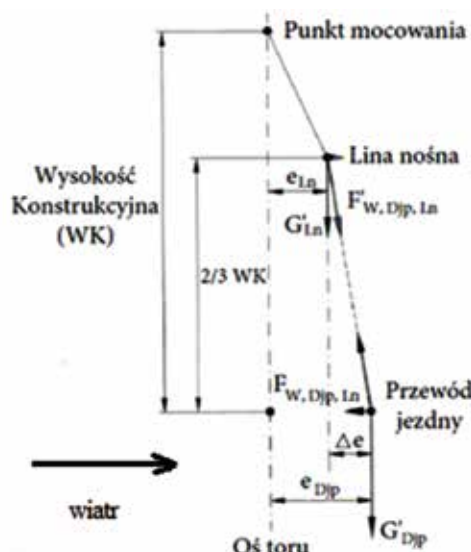
$$e = \left(\frac{F'_w \cdot x}{2H} + \frac{Z_1 - Z_2}{L} \right) \cdot (L - x) + Z_2 \quad (6)$$

Wzór (6) dobrze opisuje zjawisko wywiania sieci trakcyjnej płaskiej. Dla sieci, składającej się z przewodu jezdnygo i linii nośnej, wzór ten należy zmodyfikować i zgodzić się, że wywianie jest obliczane z pewnym przybliżeniem (nie uwzględnia wzajemnego oddziaływania przewodu jezdnygo i linii nośnej). Analogicznie do wzoru (2) można napisać wzór (7), wstawiając zamiast parcia wiatru na przewód jezdny parcie wiatru na przewód jezdny i linię nośną oraz zamiast siły rozciągającej przewód jezdny, wstawić sumę sił rozciągających przewód jezdny i linię nośną. Otrzymamy wówczas wzór (7):

$$e_w = F'_{wDjp} + F'_{wLn} \cdot x \cdot \frac{L - x}{2H_{Djp} + H_{Ln}} \quad (7)$$

Jeżeli parcie wiatru na przewód jezdny i linię nośną jest takie samo (przewód i linia mają takie same przekroje oraz naciągi są takie same, co się praktycznie nie zdarza), to wzór (7) dobrze opisuje parcie wiatru na sieć trakcyjną. W rzeczywistych przypadkach stosowane są różne przekroje lin i przewodów jezdnych oraz różne naciągi. Odchylenie poprzeczne obliczone z powyższego wzoru daje większe wartości obliczonego odchylenia poprzecznego, mniej korzystne wartości niż inne metody.

W rzeczywistości wieszaki, które łączą przewód jezdny i linię nośną, pod wpływem wiatru zmieniają swoje położenie przestrzenne i prowadzą do przemieszczania obciążeń między drutem jezdny i linią nośną. Następnie zakłada się [9], że wszystkie wieszaki w całym przęśle mają taką samą długość równą długości środkowego wieszaka. Oznacza to, jak



Rys. 3. Rozkład sił parcia wiatru na linę nośną i przewód jezdny
Źródło: oprac. własne na podst. [9].

pokazano na rys. 3, że wszystkie wieszaki w prześle mają równy kąt wyparcia. Długość tego wieszaka wynosi 2/3 wysokości konstrukcyjnej. To założenie jest dopuszczalne, jeżeli wysokość konstrukcyjna sieci jest większa od 1,40 m.

Aby obliczyć rzeczywiste odchylenie poprzeczne przewodu jezdnego i liny nośnej przez wiatr, należy wziąć pod uwagę obciążenie liny nośnej przewodem jezdnym.

Założono, że ugięcie przewodu jezdnego jest większe niż ugięcie liny nośnej, tak że udział liny nośnej zmniejsza siłę wiatru wywieraną na przewodzie jezdnym. W tym przypadku parcie wiatru obliczamy ze wzoru (8):

$$F'_{w,Djp,Ln} = \frac{F'_{w,Djp} \cdot H_{Ln} - F'_{w,Ln} \cdot H_{Djp}}{H_{Djp} + H_{Ln}} + \frac{16 \cdot H_{Djp} \cdot H_{Ln} \cdot WK}{3l^2 G'_{Djp}} \quad (8)$$

gdzie:

- H_{Djp} – naciąg w przewodzie jezdnym;
- H_{Ln} – naciąg w lince nośnej;
- WK – wysokość konstrukcyjna;
- G'_{Djp} – ciężar przewodu jezdnego.

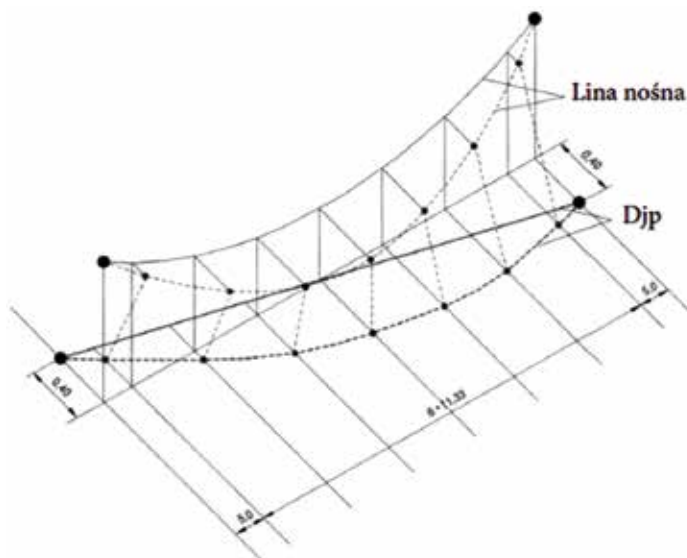
Jak twierdzą autorzy artykułu [9], weryfikacja nowej metody obliczeń powinna się odbyć przez porównanie wyników obliczeń z pomiarami na sieciach trakcyjnych. Jednakże założenia leżące u podstaw obliczeń nie mogą zostać odtworzone z dostateczną dokładnością w rzeczywistych warunkach. Do weryfikacji nowej metody zastosowano metodę MES. Parcie wiatru zamodelowano w węzłach wieszaków i przewodu jezdnego. Na rys. 4 pokazano przestrzenne położenie sieci trakcyjnej łańcuchowej Re 200 w wyniku działania wiatru.

W normie PN-EN 50119:2009 [5] podano odmienne wzory na obliczenie siły parcia wiatru (q_K – (9)) i odchylenie poprzeczne (Q_{wc} – (10)):

$$q_K = 0,5 \cdot G_q \cdot G_t \cdot \rho \cdot v_R^2 \quad (9)$$

gdzie:

- G_q – współczynnik zdefiniowany w ENV 1991-2-4: 1995. W przypadku sieci jezdnych projektowanych na wysokości do 10 m, G_q wynosi 2,05;



Rys. 4. Odchylenie poprzeczne sieci trakcyjnej Re 200 obliczone metodą MES. Naciąg w lince nośnej i przewodzie jezdnym – po 10 kN, wysokość konstrukcyjna 1,8 m, L = 80 m, $D_{jp} = Ri 100$, $L_n = BzII 50$ [9]

- G_t – współczynnik uwzględniający specyfikę terenu. W otwartym terenie G_t wynosi 1,0;
- V_R – oznacza referencyjną, uśrednioną w ciągu 10 minut, prędkość wiatru na wysokości 10 m nad ziemią, w m/s;
- ρ – gęstość powietrza równą 1,225 kg/m³ w 15 °C i do wysokości 600 m.

$$Q_{wc} = \frac{q_K \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot (L_1 + L_2)}{2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (10)$$

gdzie:

- q_K – parcie wiatru obliczone według wzoru (9);
- G_c – współczynnik strukturalny odpowiedzi dla przewodów, biorący pod uwagę wpływ innych ruchomych przewodów sieci trakcyjnej. Współczynnik G_c należy określić zgodnie z doświadczeniem krajowym. Powszechnie akceptowaną wartością jest $G_c = 0,75$;
- d – średnica przewodu;
- C_c – współczynnik oporu przewodu. Zaleca się wartość 1,0;
- L_1, L_2 – długości dwóch sąsiadujących przęseł;
- Φ – kąt wiania krytycznego kierunku wiatru w stosunku do prostopadłej do przewodu jezdnego. Ogólnie przyjmuje się, że wynosi zero.

W przypadku równoległego prowadzenia przewodów podwójnych można zmniejszyć obciążenie wiatrem na przewodzie zewnętrznym jako 80% przewodu nawietrznego, jeżeli odległość między osiami jest mniejsza niż 5-krotność średnicy. Przewody jezdne stosowane w Polsce mają przekrój poręczny 100 i 150 mm². Średnica przewodu o przekroju 100 mm² wynosi 12 mm, a 5-krotność tej wartości wynosi 60 mm. Odległość pomiędzy przewodami w sieciach polskich wynosi 80 mm, a więc zmniejszenia 80% obciążenia nie można stosować.

Bibliografia:

1. Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1301/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” systemu kolei w Unii.
2. Rozporządzenie Komisji (UE) NR 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” systemu kolei w Unii.

cyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.

3. PN-E-05100-1:1998 – wersja polska, Elektroenergetyczne linie napowietrzne, Projektowanie i budowa, Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi.
4. Figurzyński Z., Sieci trakcyjne, WK, Warszawa 1954.
5. PN-EN 50119:2009 – wersja angielska, Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Sieć jezdna górna trakcji elektrycznej.
6. Tobback P., Hauben J., Final Report ERA/2013/INTEROP/OP/01, 12th Decembre 2013
7. PN-E-05100-1:1998 – wersja polska, Elektroenergetyczne linie napowietrzne – Projektowanie i budowa – Linie prądu przemiennego z przewodami roboczymi gołymi.
8. let-107 Wytyczne projektowania i warunki odbioru sieci trakcyjnej z uwzględnieniem standardów wymogów dla linii interoperacyjnych.
9. Kießling F., Schmidt P., Windabrieb von Oberleitungskettenwerken, „Elektrische Bahnen“ 1998 r, nr 7, s. 231–235.
10. Wójtowicz A., Weryfikacja metody obliczenia obciążeń sieci trakcyjnej parciem wiatru, COBiRTK, Warszawa 1987.

The lateral deviation of the contact wire of the overhead contact line in the certification process

The basic document for the traction power supply system process is COMMISSION REGULATION (EU) No 1301/2014 [1] concerning technical specifications for interoperability of the energy subsystem. The regulation came into force in the EU on January 1, 2015. Starting from January 1, 2016, newly produced sections of the overhead contact line should be covered by the EU declaration on compliance with the requirements or suitability for use. The new document mainly concerns the OHL, however, it refers to COMMISSION REGULATION (EU) No 1302/2014 [2] applicable to testing a new pantograph type or a new type of rail vehicle. Evaluation units (NoBo) have almost three years of experience in using this document, in the interpretation of entries, in assessing the clarity of formulations. The article describes the experiences of the authors in assessing the lateral deviation of the contact wire of the overhead contact line.

Key words: TSI „Energy”, pantograph, lateral deviation of the overhead contact line.

Autorzy:

mgr inż. **Marek Kaniewski** – Instytut Kolejnictwa

mgr inż. **Małgorzata Kucińska** – Instytut Kolejnictwa



Miesięcznik sympatyków komunikacji szynowej

Świat kolei

każdy numer pełen fachowych informacji:

- * aktualności
- * nowy tabor
- * historia kolei
- * linie kolejowe
- * polskie stacje
- * kolej w świecie
- * wąskie tory
- * tramwaje
- * modelarstwo

tel. 48 369 80 74,
fax: 48 369 80 75,
mobile: 669-434-321
Prenumerata:
sk.redakcja@infotransport.pl
www.swiat-kolei.com

Wydawca:
Instytut Naukowo-Wydawniczy TTS Sp. z o.o.
26-600 Radom, ul. 25 Czerwca 68/62